

Treball de Fi de Grau

Grau d'enginyeria en tecnologies industrials

Estudi sobre la viabilitat de la resposta de la demanda en edificis

MEMÒRIA

Autor: Rafel Orestes Pérez Barceló
Director: Lluç Canals Casals
Convocatòria: Gener 2020



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

L'objectiu d'aquest estudi és avaluar la viabilitat econòmica que pot tenir la implantació dels sistemes necessaris en els edificis residencials que permetin tenir la capacitat de donar resposta de la demanda. Aquesta viabilitat econòmica s'estudia des del punt de vista dels residents de l'edifici segons els costos i beneficis de l'anomenada flexibilitat energètica.

El model es basa en l'estudi d'un bloc de 4 plantes amb un habitatge de 105 m² per planta. A més l'edifici disposa de plaques solars de 10,4 kWp i sistemes de calefacció i aire condicionat elèctrics. Així per aquest edifici s'estudien tres casos diferents depenent del tipus de flexibilitat que l'edifici és capaç d'oferir.

Per una banda, s'estudia la implementació d'un sistema de mesura dels consums i d'automatització de càrregues posposables (rentaplats i rentadores) i controlables (aparells frigorífics, sistemes de calefacció i aire condicionat). L'objectiu d'aquest sistema és maximitzar l'autoconsum de l'edifici i minimitzar els costos energètics.

Per l'altra banda, s'hi estudia l'entrada de l'edifici del cas anterior, ja amb sistemes per maximitzar l'autoconsum, al mercat de balanceig de la xarxa mitjançant l'agregació. És a dir, l'edifici ofereix la seva capacitat de modificar el seu consum a les necessitats de la xarxa obtenint com a contraprestació una remuneració econòmica. Aquesta remuneració s'ha extret d'un hipotètic mercat espanyol basat en models europeus més avançats. A més, aquest cas amb flexibilitat intrínseca i extrínseca, s'ha estudiat amb presència i sense presència de vehicle elèctric.

Per tal de poder fer la comparativa dels dos casos anteriors, el tercer cas d'estudi és un cas base que consisteix a fer l'estudi de consum i generació anual de l'edifici sense capacitat de donar resposta de la demanda. Aquest cas també s'ha estudiat amb disponibilitat i sense disponibilitat de vehicle elèctric.

Un cop s'han obtingut els costos d'implementació i els beneficis (sigui per estalvi energètic o pels pagaments del mercat, si és el cas), s'ha calculat el VAN (per diferents taxes d'interès i un horitzó de 15 anys), la TIR (amb un horitzó de 15 anys) i el període de retorn.

Amb tot, s'ha vist que la viabilitat econòmica de la flexibilitat energètica en edificis residencials es troba molt lligada a la inversió inicial i als pagaments per la flexibilitat. De totes maneres, és remarcable que l'entrada al mercat de balanceig ofereix una major viabilitat mentre que el vehicle elèctric encareix en excés la inversió inicial i resta viabilitat.

Per últim, també s'ha realitzat un estudi d'impacte ambiental on s'ha demostrat que la resposta de la demanda permet reduir les emissions de CO₂ aproximadament en un 20%.

Sumari

SUMARI	5
1. GLOSSARI	7
2. PREFACI	9
2.1. Origen del projecte	9
2.2. Motivació	10
3. INTRODUCCIÓ	11
3.1. Objectius del projecte.....	11
3.2. Abast del projecte	12
4. ESTAT DE L'ART	13
5. ESTAT DELS MERCATS	23
5.1. Mercat espanyol.....	26
6. DEFINICIÓ DEL MERCAT I HIPÒTESIS ASSUMIDES	28
7. METODOLOGIA	31
7.1. Cas 1: cas de referència	32
7.1.1. Cas 1.1 Sense vehicle elèctric.....	33
7.1.2. Cas 1.2 Amb vehicle elèctric.....	33
7.2. Cas 2: flexibilitat intrínseca.....	33
7.3. Cas 3: flexibilitat intrínseca i extrínseca	33
7.3.1. Cas 3.1 Sense vehicle elèctric	37
7.3.2. Cas 3.2 Amb vehicle elèctric.....	37
7.4. Restriccions.....	38
8. DADES DE PARTIDA I CÀLCULS	39
8.1. Cas 1	39
8.2. Cas 2	41
8.3. Cas 3.1	45
8.4. Cas 3.2	49
9. ESTUDI DE VIABILITAT ECONÒMICA	54
10. ESTUDI D'IMPACTE AMBIENTAL	56
10.1. Cas 1	56
10.1.1. Cas 1.1 Sense vehicle elèctric.....	56

10.1.2. Cas 1.2 Amb vehicle elèctric	56
10.2. Cas 2.....	56
10.3. Cas 3.....	56
10.3.1. Cas 3.1 Sense vehicle elèctric.....	57
10.3.2. Cas 3.2 Amb vehicle elèctric	57
11. PRESSUPOST	58
CONCLUSIONS	59
AGRAÏMENTS	60
ANNEX	61
BIBLIOGRAFIA.....	63
Referències bibliogràfiques.....	63

1. Glossari

AEM: *Advanced Energy Management*.

Agregador: *aggregator*. És un servei energètic que controla la demanda i/o l'oferta d'un grup de prosumers d'acord amb l'oferta i demanda total d'energia de la xarxa.

DER: *distributed energy resource*, generació distribuïda o generació descentralitzada.

DR: *demand response*, resposta a la demanda. Capacitat de la demanda a canviar el seu perfil de consum en resposta d'algun impuls extern com l'oferta, el preu, etc.

DSO: *distribution system operator*, operador de sistemes de distribució. És el sistema encarregat de distribuir l'energia des dels TSO fins a l'usuari final de forma segura i de qualitat.

EC: *European commission*, comissió europea.

EPC: *Energy Performance Contracting*, contractació de rendiment energètic. Contracte a llarg termini amb el qual l'empresa s'emporta un % els anys que duri el contracte, a canvi que els firmants del contracte no paguin la inversió inicial.

EV: *electric vehicle*, vehicle elèctric.

FCR: *frequency containment reserves*, reserves de contenció de la freqüència. Es tracten de les reserves primàries d'energia usades per intentar mantenir el nivell de la freqüència després d'un incident a la xarxa i són de resposta immediata.

FRR/aFRR : *frequency restoration reserves/ automatic frequency restoration reserves*, reserves de restabliment de la freqüència. Són les reserves secundàries d'energia que pretenen restablir la freqüència de la xarxa ràpidament després d'una possible avaria i tenen un temps d'activitat que va des de l'ordre de segons fins als 15 minuts. Així, la seva activació és automàtica, a causa de la rapidesa d'acció requerida.

HVAC: *heating, ventilation and air conditioning*, sistemes de calefacció, ventilació i aire condicionat.

IREC: Institut de Recerca en Energia de Catalunya.

LV: *low voltage*, baixa tensió.

MV: *medium voltage*, mitja tensió.

PV: *photovoltaic*, energia solar fotovoltaica

RR/mFRR: *replacement reserves/ manual frequency restoration reserves*, reserves de recanvi. Són les reserves terciàries d'energia que s'activen, habitualment de forma manual, quan les reserves primàries i secundàries s'han esgotat i també tenen la funció de restablir la freqüència de la xarxa mentre dona temps a les reserves primàries i secundàries de tornar-se a carregar. D'aquesta manera, la durada del seu servei pot anar dels 15 minuts a hores.

SoC: *state of charge*. Estat de càrrega de la bateria

SABINA: *SmArt BI-directional multi eNergy gAteway*. És el nom del projecte europeu que estudia un sistema de flexibilitat energètica usant la inèrcia tèrmica dels edificis com a principal aliat.

TRL: *technological readiness level*, nivell de maduresa tecnològica

TSO: *transmission system operator*, gestor de la xarxa de transport. Societat mercantil que pretén assegurar el subministrament dels usuaris per part dels grans proveïdors i optimitzar el transport de la xarxa elèctrica i de gas.

UPC: Universitat Politècnica de Catalunya.

2. Prefaci

2.1. Origen del projecte

L'origen d'aquest projecte es troba davant el fet de donar resposta a la necessitat d'introduir les energies renovables dins l'actual model de consum energètic, on la naturalesa variable de la producció d'aquesta energia renovable dificulta la seva entrada en un sistema on tradicionalment la producció s'adapta al consum instantani d'energia.

Per altra banda, més concretament, es podria considerar que la metodologia seguida per desenvolupar aquest estudi es troba en el projecte SABINA (*SmArt BI-directional multi eNergy gAteway*), que l'any 2016 es va iniciar des de diferents punts de la geografia de la unió europea (EU) i que té com a data de finalització el novembre del 2020.

El SABINA apunta a desenvolupar un nou model tecnològic i financer per connectar, controlar i gestionar activament la generació i l'emmagatzematge d'energia per part dels usuaris particulars tot fent ús de les sinergies entre la flexibilitat elèctrica i la inèrcia tèrmica dels edificis [1]. En aquest sentit, quan es parla de flexibilitat referida a la flexibilitat energètica s'entén aquesta com a l'habilitat de modificar la generació i/o els patrons de consum en resposta a un missatge extern (preu, avís, planificació, etc.).

Per aconseguir el seu objectiu el SABINA ha desenvolupat un sistema basat en dos algorismes per poder donar flexibilitat als edificis i també a tota la xarxa elèctrica. Per tant, el SABINA encara les necessitats creixents del canvi de model energètic per tal de poder introduir la creixent producció per part de DER (*distributed energy resource*), com podrien ser els panells solars als terrats dels edificis, i d'altres fonts d'origen renovable dins la xarxa.

Dins d'aquesta línia, aquesta producció descentralitzada d'energia ve en part per un augment de l'interès dels consumidors per entrar dins de la producció d'energia, sobretot de la d'origen renovable, especialment si aquesta va associada a una reducció del preu final del seu consum elèctric.

Així, els algorismes del projecte donen flexibilitat als edificis que han implementat sistemes de producció d'energia i obren la porta a què l'usuari pugui anar més enllà de la simple compravenda d'energia per passar a donar DR (*demand response*) i flexibilitat a tota la xarxa elèctrica. D'aquesta manera, aquest usuari final deixa de ser un consumidor passiu per passar a ser un prosumer, és a dir, un consumidor-productor d'energia que és proactiu en el mercat energètic i que ajuda a millorar-lo donant-li serveis.

2.2. Motivació

Avui en dia, el sector de les energies renovables encapçala una revolució tecnològica que ha fet trontollar el sistema establert i estableix un camí diferent i esperançador en el món de la producció d'energia. Un camí que és considerat una pedra angular en l'economia circular, ja que, va més enllà dels tecnicismes per arribar a assolir la sostenibilitat mediambiental i obre una porta a un sistema alternatiu on les fronteres entre productors i consumidors d'energia es difuminen creant un nou sistema econòmic i social completament diferent.

Davant d'aquest nou paradigma de canvi i evolució on es troba el sector energètic és molt interessant no només estar informat de les novetats tecnològiques que van sorgint sinó també estar-hi immers i intentar aportar un gra d'arena en aquest camí tan llarg com fascinant de la transició energètica.

3. Introducció

En aquest informe es fa un estudi sobre la viabilitat econòmica d'implementar un sistema per donar flexibilitat a la xarxa com podria ser un exemple el model desenvolupat per l'equip del projecte europeu SABINA, fent una anàlisi dels costos i beneficis teòrics en la implementació dels sistemes que permetin la DR als edificis.

Per arribar a implementar un model d'aquestes característiques, per un costat s'hi troben els costos associats al fet de donar flexibilitat al mateix edifici en si, és a dir, fer l'edifici capaç de preveure quin consum i quina producció tindrà al llarg del dia per poder adaptar el seu perfil de consum energètic segons una resposta exterior. Amb això s'aconsegueix donar una flexibilitat intrínseca a la corba de consum. Però el projecte no s'atura aquí i fa una passa més enllà, donant flexibilitat a tota la xarxa mitjançant un agregador que controla un conjunt d'edificis o un districte per tal de permetre donar resposta a la xarxa en funció de les necessitats d'aquesta. Per tant, els prosumers podrien entrar també a formar part del mercat a l'engròs fent ús de la flexibilitat extrínseca. D'aquesta manera, s'hi troben dos costos separats. El primer seria el cost per poder fer flexible el consum de l'edifici per ell mateix (flexibilitat intrínseca). Mentre que, en segon lloc, hi ha el cost necessari per poder entrar al mercat amb la flexibilitat extrínseca com a moneda de canvi.

Alhora, aquesta entrada al mercat passa, per la seva banda, pel fet de donar flexibilitat a la xarxa gràcies a l'agregació i a la DR. És aquesta entrada dins del mercat i també la maximització de l'eficiència del consum i de la producció d'energia de l'edifici allò que dona uns beneficis que poden ser per la mateixa xarxa, pel medi ambient, pel mateix prosumer, per la resta de prosumers, entre un llarg etcètera.

3.1. Objectius del projecte

El motiu principal del projecte és fer un estudi des de la mirada dels costos i beneficis econòmics que hi ha sobre els antics consumidors de la xarxa elèctrica en el camí cap a les noves xarxes intel·ligents on el seu paper passa a ser de consumidor passiu a prosumer actiu.

Amb això, es vol veure com podria encaixar la solució proposada, basada a donar una resposta per part de la demanda a la producció variable d'energia, en la mentalitat d'un usuari final sense nocions ni interessos sobre la necessitat de fer un canvi en el sistema energètic a nivell ambiental. Així, per tant, l'objectiu és fer una anàlisi sobre els elements necessaris i els costos associats i sobre les barreres tècniques i socials que hi pot haver per aconseguir modernitzar els edificis per tal que aquests siguin capaços de canviar les

dinàmiques de consum i poder participar en la DR.

Per l'altre costat, també s'estudien els beneficis econòmics que els prosumers poden extreure d'entrar dins del mercat energètic donant serveis a la xarxa en forma de flexibilitat energètica.

Un cop estudiats els costos i beneficis que van associats amb el canvi de model energètic s'avalua la viabilitat econòmica que d'aquest canvi des del punt de vista de l'usuari final.

3.2. Abast del projecte

Els límits més importants de l'estudi, per tant, els marca l'economia dels usuaris finals de la xarxa energètica, els futurs prosumers. Així, en aquest sentit, no s'estudien quins costos o beneficis hi pugui haver per la xarxa o la resta de prosumers participants d'aquests serveis de DR, ja que queden fora de l'abast de l'estudi.

Per tant, s'estudia la viabilitat econòmica d'adoptar la flexibilitat intrínseca i extrínseca en un edifici genèric sense cap element de producció d'energia ni de sistema de resposta de la demanda, és a dir, es té en compte el camí cap a la flexibilitat energètica des dels seus estats més inicials.

Per una altra banda, i per tal de fer possible els càlculs numèrics s'ha definit el mercat energètic on s'efectuarà l'estudi. Aquest mercat s'ha definit com un possible futur mercat espanyol que, a diferència de l'actual, permeti l'entrada de la DR i de l'agregació de forma generalitzada.

4. Estat de l'art

Davant de la conscienciació creixent de la població a escala mundial sobre els efectes que té l'activitat humana sobre totes les formes de vida del planeta Terra, inclosa la dels mateixos éssers humans, s'han iniciat, ja des de fa dècades, diferents fronts d'actuació per tal d'aconseguir reduir aquests impactes. Com és lògic un dels principals focus on s'hi han centrat més esforços és el sector energètic, és aquí on entren amb força les fonts d'energia renovables. A la Fig 1 es pot veure l'evolució de la capacitat de generació de les diferents fonts d'energia i el creixement de les fonts d'origen renovables, especialment la solar (*solar PV (photovoltaic)*) i l'eòlica (*wind*). Es denominen com a fonts d'energia renovables aquelles fonts que es consideren pràcticament inesgotables, habitualment perquè tenen la capacitat de renovar-se de forma natural. Per tant, a diferència de les no renovables no depenen de recursos que tenen el risc d'acabar-se o d'encarir-se en excés a causa de la seva escassetat o per l'especulació dels mercats. A més, un altre punt a favor és que en la seva majoria no usen el procés químic de combustió per a la producció d'energia, i com a conseqüència no tenen associada directament una alliberació de gasos d'efecte hivernacle quan es troben en estat funcional de producció.

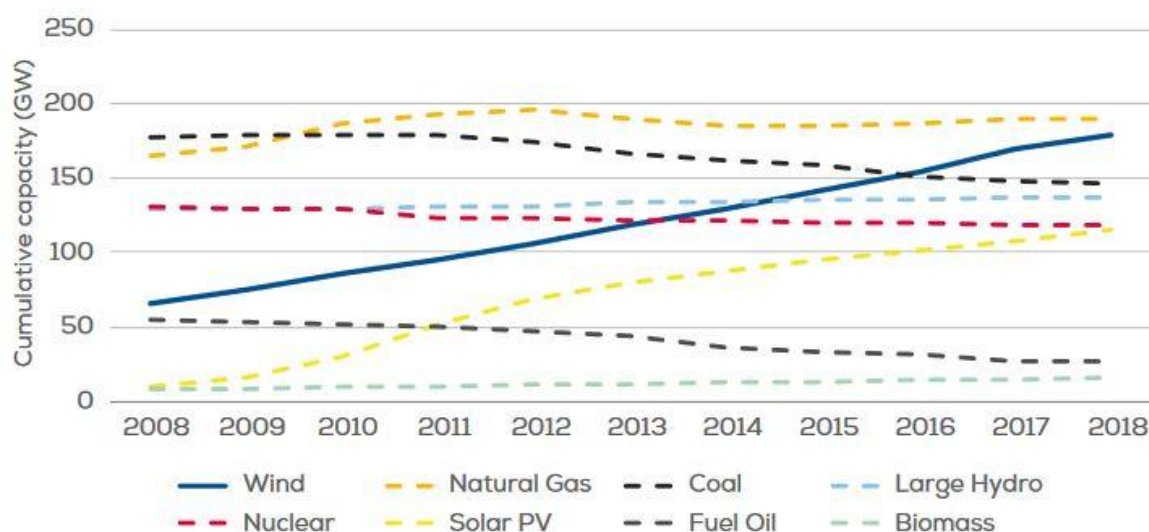


Fig 1 Capacitat de generació d'energia a Europa 2008-2018 [2]

D'altra banda, un dels principals inconvenients de les energies renovables és la seva condició de variabilitat pròpia de les fonts d'origen renovable, és a dir, la producció d'energia a partir d'aquestes fonts no depèn tant de la producció desitjada a cada instant com de la capacitat de produir del moment. Tant és així que les energies de fonts renovables també són comunament conegudes com a energies de producció variable.

Aquesta condició de variabilitat de la producció es pot veure clarament si es comparen dos territoris diferents de dimensions i consum energètic diari similars en un dia qualsevol [Fig 2](#). El primer on la seva producció sigui pràcticament de fonts no renovables com podria ser l'illa mediterrània de Formentera, l'energia de la qual prové principalment del seu enllaç amb l'altra illa pitiüsa, Eivissa (on la producció és degut una turbina de gas o a motors dièsel), i de la generació per una turbina de gas situada a la mateixa Formentera [3]. I el segon on gran part de l'energia vingui de fonts renovables com podria ser el paradigma de l'energia eòlica a l'estat espanyol, el Hierro, que l'any 2017 va arribar quasi al 50% de la producció energètica provinent del seu parc hidro-eòlic de Gorona del Viento i que durant 18 dies consecutius es va abastir el 100% amb energia renovable a l'inici del 2018 [4].

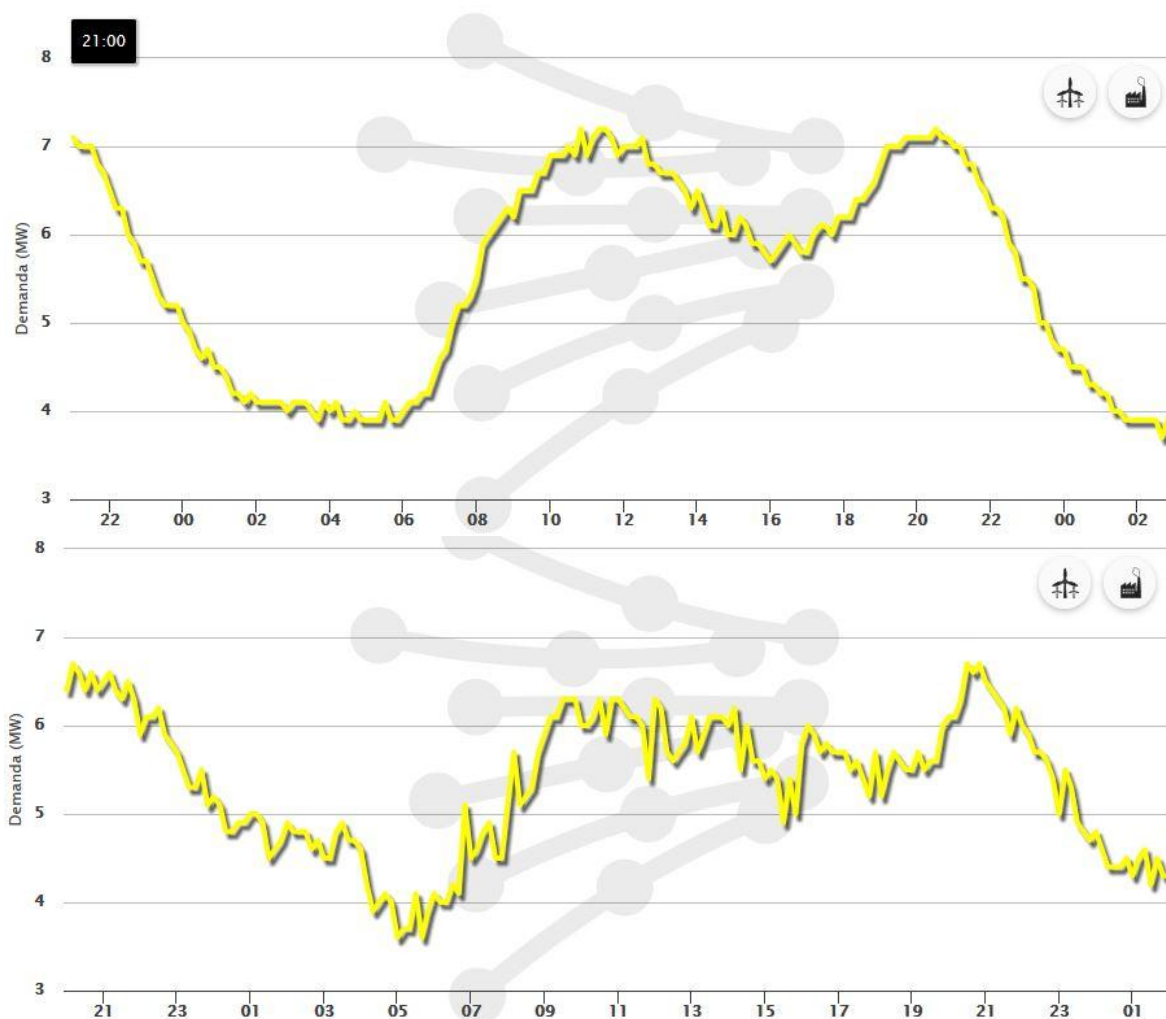


Fig 2 Comparativa entre generació d'energia amb el sistema de generació clàssic (Formentera a dalt) i el de generació de fonts variables (producció de més del 90% per fonts renovables entre les 7 i les 13) (El Hierro a baix) 22/10/2019 [5].

Aquesta característica xoca frontalment amb el model clàssic del mercat energètic, ja que,

en el model energètic existent fins avui s'hi troben clarament separades, per un costat, la producció de l'energia i, per l'altre, el consum. En aquest context, la producció s'adapta al consum que hi ha en cada moment. Així, quan s'està consumint més del que s'està produint s'efectua un augment de la producció per tal de donar servei a tots els consumidors. Mentre que, en cas contrari, la part productora redueix la seva producció per així evitar sobretensions a la xarxa. D'aquesta manera, hi ha una producció activa que s'adapta a un consum passiu que no intervé en el servei energètic directament.

Degut, per una banda, a la naturalesa poc previsible i irregular de la producció d'energia de fonts renovables i, per l'altra, a la seva entrada tan necessària com real dins la xarxa elèctrica fa que sigui la mateixa xarxa elèctrica la que necessiti adaptar-se a una nova realitat. Aquesta nova realitat, en l'àmbit europeu, es veu reflectida en la intenció per part de la EU (*european union*) que per l'any 2030 el 30% de la producció d'energia provingui de fonts renovables, i així intentar assolir la reducció del 40% de les emissions de CO₂ en l'àmbit europeu previstes pel mateix any. És més, s'espera que aquest percentatge d'energia renovable arribi a un 50% per l'any 2050 [6].

El model actual (Fig 3), per tant, no està adaptat per a una gran producció variable d'energia, un exemple que ho demostra és que a Alemanya amb l'augment de les fonts renovables d'energia (en especial PV i eòlica) en el seu territori, en dies que la demanda és baixa per motius de climatologia, dies no laborables, etc. el preu de l'energia arriba a ser negatiu per així incentivar al consumidor a augmentar el seu consum i evitar problemes a la xarxa [7]–[9]. Això comporta una reducció de l'eficiència de la producció renovable d'energia i evidencia la necessitat d'oferir flexibilitat a aquesta. Si, a més a més, es té en compte que amb un 10% d'energia variable ja comencen a haver-hi possibles problemes a la xarxa com poden ser sobretensions, congestions o talls, es veu clar que es

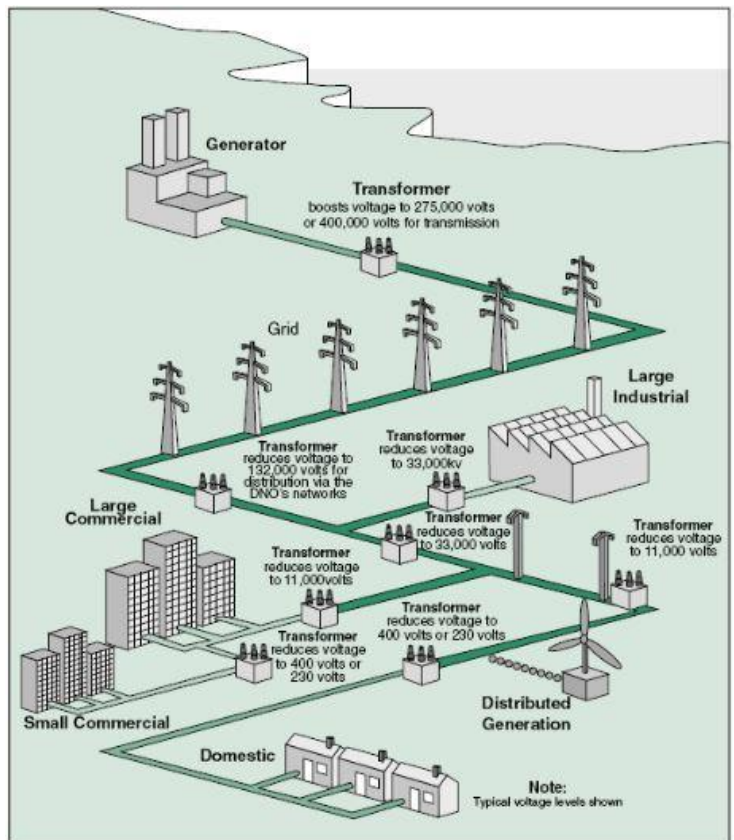


Fig 3 Simplificació del sistema tradicional de distribució d'electricitat. [6]

problemes a la xarxa com poden ser sobretensions, congestions o talls, es veu clar que es

necessita una adaptació urgent del sistema elèctric tradicional [1].

Si es té en consideració que segons les fonts [6], [10]:

- Aproximadament un 40% del consum d'energia a Europa és per abastir els edificis.
- El 80% del cost del cicle de vida dels edificis es produeix durant el seu estat operacional.
- Un 50% del cost del cicle de vida és a causa del consum energètic.
- El 90% del cicle de carboni d'emissions dels edificis és causa directa del consum energètic.

Es veu, per tant, que una clara prioritat es troba en el fet de modernitzar els edificis per tal d'aconseguir els objectius de penetració d'energies renovables a la xarxa als quals es pretén arribar dins d'Europa a mitjà i llarg termini. És més, considerant que el consum per culpa de particulars és d'un 26% [11] dins la mateixa Europa, és important que no només es facin millores en grans edificis o grans centrals, sinó que els mateixos ciutadans també encapçalin el canvi.

És aquesta modernització dels edificis allò que faria possible el canvi més important en el camí que separa als consumidors passius cap a ser prosumers. És important remarcar però, que aquest augment de DER és un factor més a afegir a la necessitat de la xarxa a adaptar-se als canvis i modernitzar-se per tal de donar pas a un model de xarxa intel·ligent. En aquesta nova situació es fa indispensable un sistema de comunicació bidireccional entre la producció i el consum per tal de mantenir el bon estat del servei, evitar congestions a la xarxa i maximitzar l'eficiència del consum i, sobretot, de la producció d'energia renovable.

Per fer aquest pas és primordial aconseguir donar-li flexibilitat al sistema [12], [13], per tant, on guanya més pes la importància dels usuaris com a prosumers és en la flexibilitat que poden aportar amb la DR. En aquest sentit, doncs, la modernització dels edificis no passa només per augmentar la producció d'energia renovable sinó que també ha de passar per ser capaços de donar més flexibilitat a la xarxa per mitjà de la DR. Es fa visible així la necessitat de passar als edificis intel·ligents per tal d'assolir un sistema de xarxa intel·ligent que minimitzi el consum i maximitzi l'eficiència de la producció d'energia renovable. Alhora, també s'assegura el bon funcionament del subministrament evitant sobretensions, talls, molèsties als usuaris finals, etc. [14]

Una de les peces claus per aconseguir que aquesta transició sigui efectiva és l'agregació de diverses DER [15]–[18]. En aquest punt és on entra la figura de l'agregador, que fa d'intermediari entre un conjunt de productors d'energia i la xarxa. Així, s'aconsegueix una

comunicació bidireccional entre les dues parts que permet a la part productora donar resposta a les necessitats de la xarxa. Amb això es permet l'entrada d'aquests productors en un mercat on seria impossible d'entrar sense l'agregació.

La Unió Europea no es troba al marge de la situació i ja fa anys que intenta promocionar que els estats membres desenvolupin polítiques que permetin i facilitin la transició. Ja l'any 2012 amb la directiva d'eficiència energètica 2012/27/EU va fer palesa la intenció de reduir en un 20% el consum d'energia per l'any 2020 (en referència al consum d'energia que hi havia previst per l'any 2020). Mentre que amb la directiva 2018/2002/EU estableix, seguint la mateixa línia de la directiva del 2012, que l'eficiència energètica de la UE el 2030 ha de ser de, almenys, el 32,5% [19]–[21]. De fet, en el 2009 (art. 4 (3) 2009/28/EC) la mateixa EU va fer que cada país membre fes un pronòstic sobre l'entrada de les renovables en els seus territoris abans de fer el seu pla nacional d'energia renovable [22]. A més, amb aquestes dues directives s'explicaven algunes recomanacions a seguir per part dels països per tal d'arribar a la fita fixada.

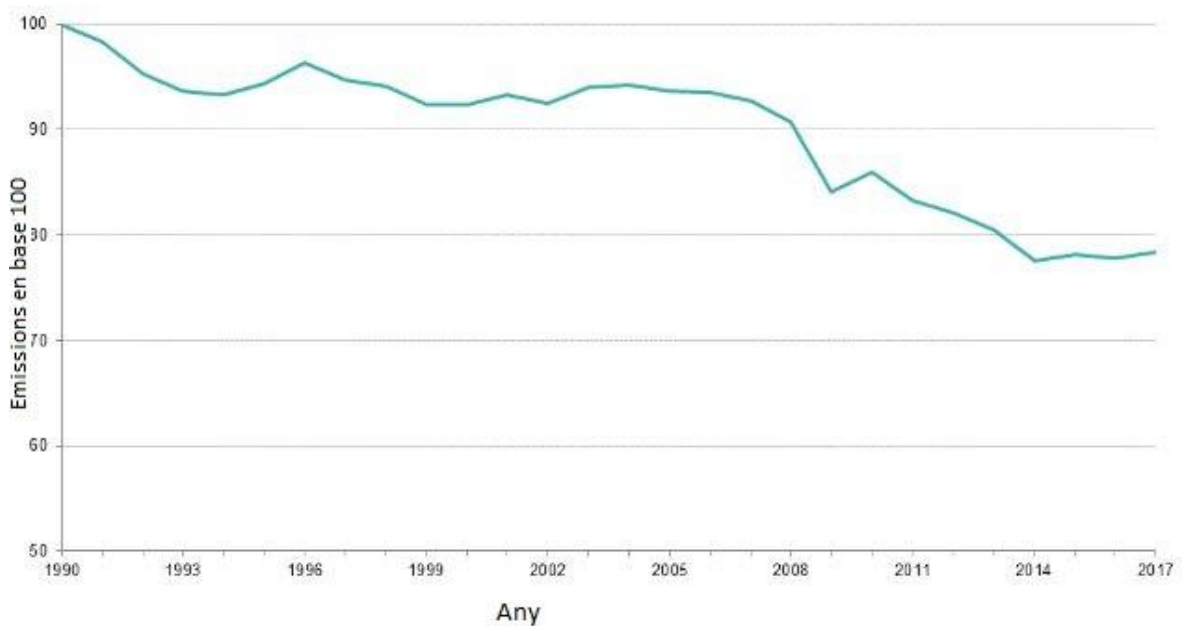


Fig 4 Emissions de gasos d'efecte hivernacle a Europa des de l'any 1990 (=100) fins el 2017 [23]

És més, la comissió europea no advoca únicament per la transició, sinó que, vol que Europa lideri aquesta transició en el camí cap a la flexibilitat com es pot llegir a la seva pàgina web en matèria d'energia i el seu disseny del mercat elèctric:

<< Updating the design of the EU electricity market contributes to the EU's goal of being the world leader in energy production from renewable energy sources by allowing more flexibility to accommodate an increasing share of renewable energy in the grid. The shift to

renewables and increased electrification is crucial to achieve carbon neutrality by 2050. The new electricity market design will contribute to the creation of jobs and growth.>>[24]

Per altra banda, des de l'EC (*European Commission*) també s'aposta i s'incentiva la renovació dels edificis existents, que suposen un 36% de les emissions de CO₂ a Europa. En aquest sentit s'aposten pels anomenats *neraly zero-energy buildings* (NZEB) [25], es tracta d'edificis que mitjançant l'ús de les energies renovables aconseguixen ser pràcticament autosuficients en l'àmbit energètic. De fet, des del 31 de Desembre del 2018 tots els edificis públics dels països de la UE han de ser NZEB i es pretén que a partir del 2021 tots els edificis de nova construcció hagin de complir amb aquesta especificació [26].

En qualsevol cas, cada país té la seva pròpia legislació i els nivells d'evolució legislativa en el tema són molt diversos. Entre els països que tenen l'estat legal més desenvolupat per propiciar l'evolució energètica destaca el Regne Unit (UK), seguit per altres com Finlàndia, França, Bèlgica o Irlanda [11], com es pot veure a la Fig 5. Encara que s'espera que en pocs anys tots els països hagin arribat al nivell de maduresa legislativa que requereix la situació.

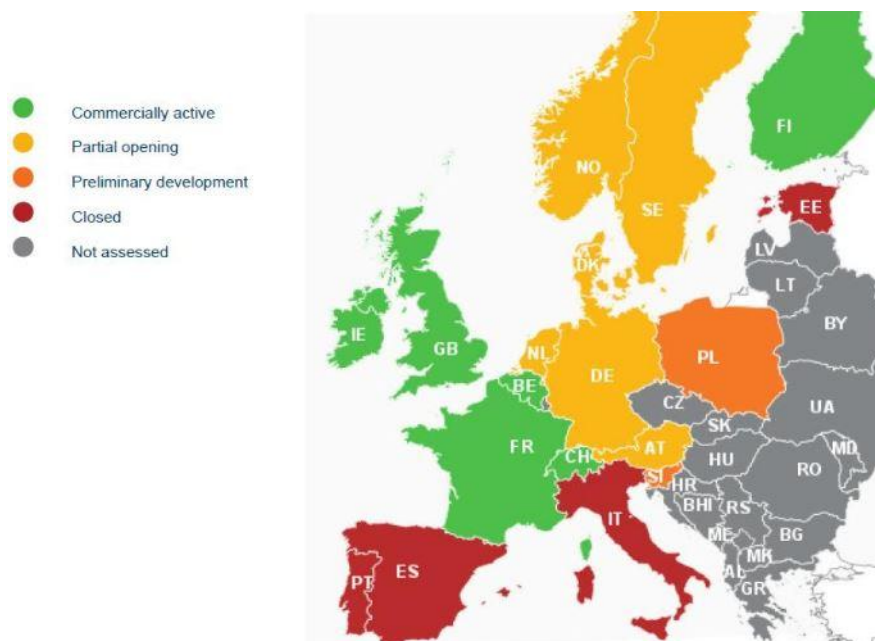


Fig 5 Situació de la flexibilitat energètica en els països d'Europa (2017) [27].

Per altra banda hi ha moltes empreses que també han vist l'oportunitat i la necessitat de fer aquest canvi i s'han llançat al desenvolupament tecnològic amb nous models de negoci i nous avanços científics. Això és degut, en part, a la gran possibilitat de negoci que també hi pot haver darrere dels edificis flexibles. De fet, segons la DECC (*Department of energy and climate change*) en un estudi el Gener del 2014, un 51% dels habitants del Regne Unit

estarien disposats a fer els canvis necessaris si això suposàs un estalvi que es reflectís a la factura [11], [28]. Aquest desenvolupament en l'àmbit empresarial denota un interès, tant per part dels usuaris com per part del mercat, en trobar i oferir solucions.

Alguns exemples d'empreses que ja han apostat per la flexibilitat i els edificis intel·ligents podrien ser els següents: [6]

- **Goteborg Energi** ha realitzat un estudi per tal de determinar si l'ús de la inèrcia tèrmica dels edificis permet reduir l'ús de combustibles fòssils i reduir els pics de la demanda. Amb això es permet maximitzar l'eficiència de la producció renovable d'energia usant la inèrcia tèrmica que tenen els edificis com a sistema d'emmagatzematge d'energia a les hores on la producció de les fonts variables sigui superior a la demanda. La solució s'ha demostrat que funciona però és de difícil estandardització, ja que cada edifici és diferent.[29]
- **QCoeffivient** va fer un estudi amb diferents edificis que amb un algoritme desenvolupat a la mateixa empresa es calculava de manera automàtica quan era millor refredar/escalfar l'edifici per tal de mantenir el confort dels usuaris mentre s'evita també els pics de consum. Com a resultat es va aconseguir reduir el consum en un 10%, el cost en un 20% i el consum en les hores puntes en un 30%. [30]
- **Energy IN TIME** aposta pel control i l'operació d'edificis no residencials per mitjà de tècniques de simulació, d'aquesta manera elabora el pla diari més òptim adaptat a l'edifici. [10]
- **Building IQ** és una empresa que instal·la algoritmes d'intel·ligència artificial a grans edificis amb una complexitat elevada per tal de reduir el consum de HVAC entre un 10% i un 25% de mitjana i fins a un 40% en hores puntes.[31]
- **DEPsys** ha realitzat un algoritme a temps real que controla l'ús de les energies (incloses les renovables) per tal de reduir el cost final.[32]
- **Neurobat** ha desenvolupat un algoritme d'optimització que, sense necessitat de parametrització inicial, és capaç de preveure la temperatura a l'interior de l'edifici de les següents 24 hores amb un error de 0,1 °C en només dues setmanes.[33]
- **GridSense** és una empresa que s'encarrega de l'optimització d'edificis intel·ligents mitjançant l'ús eficient de la informació.[34]
- **Demand Logic** es dedica a avaluar tots els aparells de consum energètic de l'edifici per tal de saber quin és el que té un consum excessiu i així centrar l'optimització

energètica de l'edifici en aquells que consumeixen de més.[35]

- **Airbus defence & space(ds)cybersecurity** és una empresa especialista en ciberseguretat dins d'Europa, especialment per sistemes de control remot com poden ser els usats en aeronàutica. Conscients de la possible amenaça de sofrir atacs cibernètics que pot suposar un sistema de consum energètic que es basa principalment en el control remot i la compartició de dades de forma bidireccional, l'empresa fa anys que dediquen part dels seus esforços en possibles sistemes de seguretat que siguin vàlids per a la xarxa elèctrica intel·ligent.[11]

Aquests només són alguns dels exemples que es poden trobar d'empreses que han iniciat ja la carrera dins el món de les xarxes intel·ligents i ja han posat la primera pedra en el camí del canvi de model energètic, però aquestes només representen la punta de l'iceberg, el que demostra que aquest és un mercat a l'alça i que té unes perspectives de futur molt extenses.

Amb aquest marc social, legal i tecnològic s'inicia l'any 2016 el projecte europeu conegut com a *SmArt BI-directional multi eNergy gAteway* o SABINA. Aquest projecte centra la seva activitat en l'estudi d'alguna manera innovadora i encara poc investigada de passar de consumidors a prosumers. En el SABINA hi intervenen diverses entitats europees de diferents països que com són *SMS Energy Services Limited* (Regne Unit), *CSEM Centre suisse d'electronique et de microtechnique SA- REcherche et developpement* (Suïssa), *Universidad de Navarra* (Espanya), *Ensero E-mobility AS* (Dinamarca), *Fundació Institut de Recerca de l'Energia de Catalunya* (Espanya), *Schneider Electric España SA* (Espanya), *National Technical Univeristy of Athens* (Grècia), *Digital SME* (Bèlgica), *Amires S.R.O* (República Txeca). [1]

La solució proposada s'assembla una mica en la idea principal que va fer servir l'empresa de *Goteborg Energi* en el seu estudi d'utilitzar la inèrcia tèrmica dels edificis per tal de donar flexibilitat energètica jugant amb els sistemes de calefacció i refredament d'aquests. Amb aquest projecte es tenen com a objectiu principal maximitzar l'autoconsum d'energia de fonts renovables, i per tant, pretén minimitzar les emissions de CO₂ alliberades per la xarxa donant-li flexibilitat alhora que es continua garantint el confort del consumidor. L'esquema bàsic del funcionament del projecte europeu es pot observar a la [Fig 6](#).

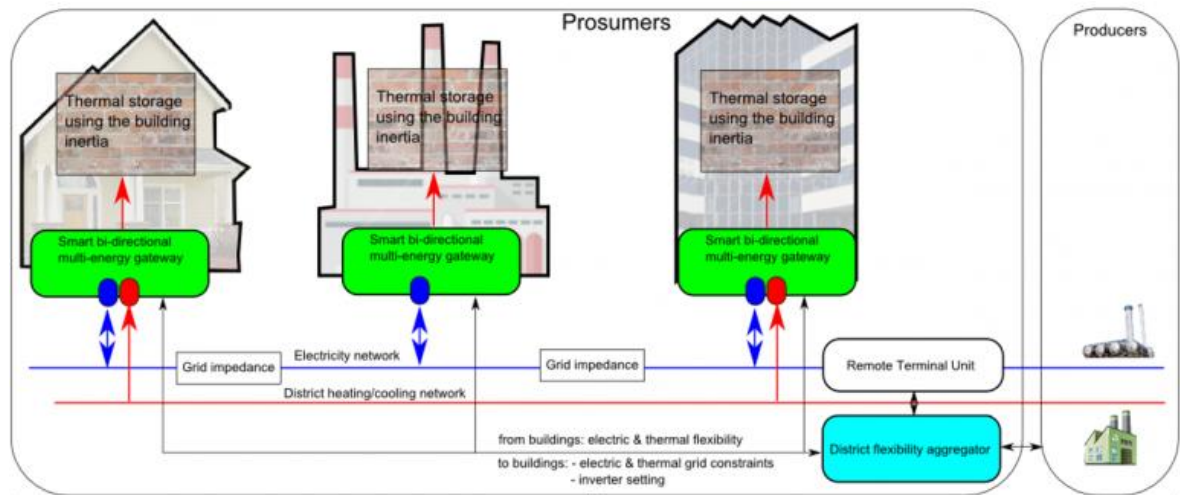


Fig 6 Concepte del model del projecte SABINA [1].

D'aquesta manera, primer de tot es va veure que era necessari aconseguir eliminar la barrera de l'estandardització de la solució per edificis. Tenint clar que posant uns valors arbitraris als paràmetres no s'aconsegueix superar el problema de la diversitat de naturaleses dels edificis, aconseguint així només perdre eficiència, es va decidir apostar per desenvolupar un mètode automàtic que aconsegueix fer una estimació de la inèrcia tèrmica de l'edifici.

Un cop es té definida la inèrcia tèrmica de l'edifici usant el model automàtic creat en el mateix projecte, i per tal de donar resposta a la doble intencionalitat del projecte, el sistema funciona amb dos algoritmes diferenciats. Per una banda, s'hi troba l'algoritme que treballa a escala local, a nivell d'edifici. Amb aquest algoritme es decideix quan s'usa la calefacció aprofitant la inèrcia tèrmica de l'edifici quan hi hagi un excedent d'energia, o s'emmagatzema d'una altra manera com podrien ser els cotxes elèctrics, bateries, etc. Amb això s'aconsegueix maximitzar l'autoconsum de l'energia produïda i reduir el consum de l'edifici en les hores de pics demanda a la xarxa.

A un nivell superior hi ha el segon algoritme que és aquell que funciona com a agregador a nivell de districte, o conjunt d'edificis. Aquest agregador que funciona com un intermediari entre la xarxa i els prosumers, té la intenció de permetre a aquests últims oferir flexibilitat al sistema elèctric. Aquest algoritme, per tant, s'encarrega de mirar les necessitats generals de la xarxa per així donar serveis de balanceig. D'aquesta manera es dóna resposta a les necessitats que pugui tenir la xarxa sempre que aquesta resposta impliqui una reducció de les emissions de CO₂. Per posar un exemple, si hi ha una caiguda de la producció per alguna avaria, un edifici sol no és capaç de donar resposta a la xarxa, però si s'actua per districtes sí que es podria donar una resposta de magnitud de MW que podria evitar el tall de subministrament fins que se soluciona el problema. Això faria que els prosumers no

només treballassin dins de l'àmbit de la flexibilitat intrínseca i local de la xarxa de LV, sinó que permetria als usuaris entrar dins del mercat elèctric i, en conseqüència, donar flexibilitat a tota la xarxa beneficiant a la xarxa i a tots els prosumers alhora.

En definitiva, doncs, el primer algoritme, se centra en el control de la flexibilitat de les calderes elèctriques, bateries i altres elements d'emmagatzematge dels que puguin disposar els edificis, donant així flexibilitat des del costat del consum per adaptar-lo a la producció renovable. Mentre que, el segon algoritme és el que actua en les operacions d'agregador entrant en el mercat a l'engròs de l'electricitat i aconseguint beneficis a partir de l'aportació de flexibilitat al sistema. Aquesta entrada al mercat de balanceig és un dels principals incentius que ofereix l'agregador als prosumers, i és el que destaca al SABINA de la resta de projectes que s'han portat a terme fins al moment. [1], [6]

Cal remarcar que el projecte SABINA està centrat sobretot en la reducció d'emissions de CO₂ per part dels nous prosumers. Això no vol dir però que aquests canvis no portin directament relacionat una reducció del cost energètic que es veu reflectit a la factura de l'usuari final. Aquest punt és especialment important per aconseguir l'acceptació del públic general i incentivar el canvi en el model de consum per part d'aquest, ja que, els propietaris d'edificis veuen el canvi com una gran inversió amb molta incertesa de cara al futur. Això fa que sigui important fer un estudi sobre la viabilitat que pot tenir un projecte de l'estil del SABINA des del punt de vista dels futurs prosumers.

5. Estat dels mercats

Com s'ha mencionat amb anterioritat, el pes creixent de les fonts d'energies renovables i, sobretot, l'augment en nombre de les DER suposen un repte en el model de la xarxa elèctrica tradicional on la producció s'adapta a la demanda i, en conseqüència, presenta un escenari on hi ha una acció necessària per part dels Estats per poder-hi donar resposta al requeriment de flexibilitat al sistema energètic.

En aquest sentit, l'aposta més estesa per tal de permetre que la demanda es pugui adaptar a la producció variable és la figura d'un agregador (*aggregator*). Un agregador és la peça que es troba entre el DSO o TSO i els consumidors finals i que actua com a intermediari entre ells. Així dóna la informació necessària perquè la part de la demanda pugui donar una resposta adient a l'estat actual de la xarxa i poder donar serveis. A més, el pes d'un sol edifici dins la xarxa no té un impacte suficient com per a poder-lo tenir en compte en el mercat, en canvi, amb la figura de l'agregador els edificis deixen de funcionar aïlladament per fer una entrada conjunta en els serveis de la xarxa aconseguint així una capacitat suficientment important. Per tant, la figura de l'agregador seria la peça clau per tenir una comunicació bidireccional que permeti que la DR pugui funcionar correctament. [16], [18], [36]–[39]

L'entrada al mercat energètic per part dels nous prosumers es podria produir principalment dins l'anomenat mercat secundari, o cosa que és el mateix, el mercat de manteniment de la freqüència de la xarxa. Dins del mercat secundari s'hi poden trobar tres distincions diferents segons quins són els serveis que es donen a la xarxa i quins requeriments es tenen per participar-hi [16], [17], [40]:

- **FCR** (*Frequency Containment Reserves*): es tracten de les reserves primàries d'energia i són de resposta immediata. La seva funció és la de respondre de seguida i automàticament davant d'un incident.
- **FRR/aFRR** (*Frequency Restoration Reserves/ Automatic Frequency Restoration Reserves*): són les reserves secundàries i tenen un temps d'activitat que va des de l'ordre de segons fins als 15 minuts. La seva funció sí que és la de restablir la freqüència de la xarxa ràpidament després d'una possible avaria. Així, la seva activació és automàtica, a causa de la rapidesa d'acció requerida.
- **RR/aFRR** (*Replacement Reserves/ Manual Frequency Restoration Reserves*): són les reserves terciàries d'energia que s'activen, habitualment de forma manual, quan les reserves primàries i secundàries s'han esgotat. D'aquesta manera, la durada del seu servei pot anar dels 15 minuts a hores.

Així la DR és primordial per poder donar aquesta flexibilitat requerida a la xarxa. I, tot i que a la EU apunta cap a un model energètic flexible i que anima als estats membres a facilitar l'obertura del mercat a la nova realitat i a la DR, a la pràctica l'asincronia entre estats és palesa. Així, cada estat es troba en un punt de maduració molt diferent en el camí cap al nou model energètic. Aquesta disparitat es troba ja en les bases legals que incentiven, tenen en compte o senzillament prohibeixen aquesta resposta de la demanda dins del sistema energètic. [1], [16], [37], [40]



Fig 7 Mapa del nivell de maduresa dels mercats de balanceig a Europa 2018 [16]

En línies generals, com es pot observar a la Fig 7, els països econòmicament més desenvolupats de la EU, que són els que es troben al nord, nord-oest del mapa europeu; també són els que encapçalen l'obertura del mercat per permetre que la DR sigui un recurs més dins del sistema energètic. Mentre que, per la seva banda, són els països del mediterrani i de l'est que han de fer més esforços per posar-se al dia en aquesta matèria. [16], [40]

Davant aquesta situació l'associació SmartEN (*Smart energy europe*) cada any fa un estudi sobre l'estat dels mercats energètics dels diferents estats de la EU en matèria de xares intel·ligents, agregació i DR. Els factors estudiats per tal de determinar la maduresa d'aquests mercats són els següents: [16]

- **Accés al mercat de balanceig:** aquest accés al mercat secundari s'estudia des de l'estat en què es troben les tres distincions mencionades abans: la FCR, la FRR i la RR. En aquest sentit es veu un avanç generalitzat especialment per la reducció de barreres d'entrada. Els països com Gran Bretanya, França, Suïssa, Bèlgica i Finlàndia encapçalen el nivell de maduresa d'aquest factor comptant amb un mercat obert sense barreres, o amb algunes barreres menors, on l'agregació està permesa i on hi ha una participació estesa de les DER en la DR.
- **Mesura i prequalificació:** es miren els requeriments per poder participar dels mercats de balanceig, els criteris de mesura i de verificació. Que aquest factor sigui realment aplicable s'ha determinat una peça clau per permetre l'accés als mercats. En aquest sentit s'ha observat una certa tendència a tenir un sistema suposadament neutral i obert però que a la pràctica els requisits tècnics exclouen bona part de les noves tecnologies. Aquest podria ser l'exemple de la mida de l'oferta mínim o de les rampes requerides en aquestes ofertes, que fan que només siguin les plantes de generació convencionals les que tenguin capacitat de participar en aquests mercats. El país més desenvolupat en aquest àmbit és Suïssa on els requeriments es troben estandarditzats i són aplicables per a l'agregació. Cal remarcar que en aquest punt les diferències entre països no són tan marcades com a la resta encara que Espanya, Portugal, Polònia i Eslovènia encapçalen la cua en nivell de desenvolupament de mesura i prequalificació, ja que, els requisits exigits actuen com a barrera.
- **Segmentació i mida del mercat:** amb això s'avalua l'activitat dels participants en el mercat, les capacitats manejades, les tecnologies que hi participen i la penetració dels agregadors independents. Aquí una manca de dades públiques sobre el mercat i els seus participants és una de les principals diferències a l'hora de determinar l'obertura del mercat estatal a la DR. Els mercats més avançats en aquest sentit són Finlàndia, Irlanda, Gran Bretanya i França on hi ha una gran presència d'agregadors independents i totes les tecnologies es troben incloses dins del mercat amb una participació força estesa de les DER.
- **Transparència:** en aquest apartat s'estudia la informació pública disponible per cada territori. En general s'hi troba una manca d'informació en la majoria d'estats, ja que només hi ha una publicació d'una part de la informació, i el preu no reflecteix el valor real de l'energia. Aquest és el cas d'exemples com França, Espanya, Alemanya, Àustria o Dinamarca, entre d'altres.
- **Propers canvis:** aquests propers canvis s'analitzen mitjançant la planificació que tenen els països per posar en marxa les mesures descrites en el EB GL (*Electricity*

Balancing GuideLine) escrit per la ENTSO-E (*European Network of Transmission System Operators for Electricity*). Els països més avançats ja han començat amb la implementació des del juliol del 2019 com França i Bèlgica, mentre que els països que van més endarrerits tenen previst l'inici l'any 2021 com són els casos d'Espanya o Eslovènia.

5.1. Mercat espanyol

És interessant per qüestió de proximitat i coneixement estudiar el cas concret de l'estat del mercat a l'estat espanyol. En aquest sentit Espanya històricament sempre ha estat un estat tancat a la DR. Actualment el mercat segueix tancat a una possible entrada de la DR i de la figura de l'agregador, com es pot veure a la [Taula 1](#) (aquesta només està permesa per a la generació de grups de la mateixa tecnologia) en el mercat del balanceig. Així, encara que es té prevista l'aplicació de la EB GL actualment només hi ha un programa de DR dirigida a consumidors amb més de 5 MW de potència contractada i on l'agregació no està permesa (contracte de càrregues interrompudes).

	<i>Terminologia TSO</i>	<i>Participació de la flexibilitat de la demanda</i>	<i>Agregació acceptada</i>
FCR	Control primari	×	×
FRR	Control secundari	×	×
RR	Control terciari	×	×

Taula 1 Taula dels productes del mercat de balanceig estudiat per Smarten 2015 [15]

Si es fa una anàlisi dels punts descrits amb anterioritat, l'estat actual del mercat espanyol seria [16], [40]:

- La participació en la FCR és obligatòria per qualsevol generador i no està remunerada econòmicament. Per normativa tots els generadors han de reservar almenys l'1,5% de la seva potència per a la regulació primària
- La FRR està oberta només per zones regulades de 300 MW i la mida mínima de cada oferta és de 10 MW. A més l'oferta ha de ser simètrica, és a dir, cada ona regulada ha d'oferir les mateixes pujades i baixades al mercat. Amb tot, la DR no hi té cabuda a la pràctica dins el mercat. En qualsevol cas, hi ha pagaments per a l'oferta de capacitat i per l'activació d'aquesta. El preu per a l'oferta de capacitat

d'energia es regula segons el preu del mercat secundari establert per cada hora. Per la seva banda, el preu d'activació es determina depenent de les reserves terciàries que serien necessàries per recarregar les reserves secundàries d'energia usades. Pel que fa a les penalitzacions, la no disponibilitat d'energia per una àrea regulada és del 150% del preu de mercat dels serveis de regulació de la freqüència, aquest elevat preu de la penalització pot suposar una gran restricció per als petits productors.

- Pel que fa a la RR es fan ofertes per donar tota la capacitat disponible en 15 minuts i cada oferta ha d'incloure la regulació per la pujada i per la baixada. Igual que amb la FRR és necessari que la mida de l'oferta sigui d'almenys 10 MW. Per tant, l'entrada de la DR a aquest mercat també està força limitada. Per les reserves terciàries els pagaments només es produeixen per activació i es basen en els preus de mercat per cada hora del dia. En canvi, les penalitzacions per la no entrega d'energia és del cost de l'energia no entregada més un 20% del valor d'aquesta mateixa energia.
- Per la seva banda, la mesura i prequalificació exclou la DR en el procés de proveir serveis de balanceig. Encara que es preveu que amb l'aplicació de la EB GL la DR es pugui agregar i participar en el mercat. Per l'altre costat, les ofertes han de ser simètriques.
- Amb tot no hi ha participació de la DR ni pràcticament de les DER en el mercat elèctric espanyol.
- En temes de transparència de dades els problemes principals vénen derivats dels contractes bilaterals de participació obligatòria.
- Els principals canvis previstos són l'adopció del EB GL que regularia l'entrada de la participació de la DR dins els mercats de balanceig.

6. Definició del mercat i hipòtesis assumides

Per temes de proximitat i de coneixement del clima i del sistema en general, s'ha considerat que el més adient és fer l'estudi a dins l'estat espanyol per tal de poder realitzar càlculs concrets i poder monetitzar els resultats.

Per altra banda, es fa evident que no és possible fer un estudi adient dins del mercat espanyol en la seva situació actual, ja que no hi ha la maduresa suficient. Aquesta manca de maduresa ve per la falta d'un mercat de balanceig que permeti l'entrada de les DER, ja sigui perquè no es troben contemplades dins del marc legislatiu actual, com per la impracticabilitat de fer una entrada a causa d'uns requeriments massa restrictius per als petits prosumers.

Per tant, és necessari definir un mercat amb unes condicions que obrin les portes a què hi pugui haver una participació activa per part de les DER dins del mercat secundari i que permetin un sistema d'agregació viable. Així, en conseqüència, en aquest apartat s'expliquen quines són les consideracions i hipòtesis assumides per poder crear un marc de mercat que permeti als prosumers entrar en el sistema energètic espanyol. D'aquesta manera el mercat usat no és el mercat que hi ha avui en dia dins de les fronteres espanyoles però s'ha intentat, en mesura del possible, que el mercat definit sigui una possibilitat del que podria haver-hi en un futur pròxim.

Així, les mesures correctores que serien necessàries fer per poder tenir un mercat practicable per als petits generadors i per poder donar entrada a la DR s'han determinat basant-se i prenent com a exemple els models dels països europeus més desenvolupats per tal de poder estar al mateix nivell que aquests.

La primera hipòtesi important a realitzar és l'obertura del sistema a l'agregació i a la DR en els tres mercats del balanceig de la xarxa. Un cop obert sobre el paper mitjançant la legislació cal fer que, a més, l'entrada sigui també aplicable per a totes les tecnologies sense que hi hagi requeriments massa restrictius que només els grans generadors d'energia siguin capaços de complir.

Així un primer punt que seria important per permetre l'entrada dels generadors més petits seria la de reduir la mida mínima de l'oferta. En aquest sentit, el primer que s'ha considerat és un sistema on la FCR deixaria de ser obligatòria per a tots els generadors i on entraria també la DR. Els requisits, en qualsevol cas, es podrien adaptar per aconseguir facilitar l'entrada dels petits generadors. D'aquesta manera la mida mínima de l'oferta seria de 1 MW on l'agregació estaria permesa seguint el model francès [16]. Aquest canvi es troba enfocat a obrir un nou model de mercat per a les reserves primàries d'energia i pugna per

aconseguir la participació el més estesa possible mitjançant els incentius i no les obligacions.

Per altra banda, en les reserves secundàries i terciàries els mínims per a cada unitat passaria a ser de 5 MW, permetent que aquest valor sigui assolit per agregació com en el model finès o el suís [16], el que suposa una reducció del 50% de la mida d'oferta mínim establert actualment. A més cal tenir en compte que, seguint els models més flexibles, l'oferta deixaria de ser necessàriament simètrica, facilitant també així l'entrada de la DR al mercat.

Per tal d'incentivar l'entrada de la DR, i tenint en compte que allà on la resposta de la demanda pot guanyar més és en els pagaments per disponibilitat [40], s'incentivarien sobretot els pagaments per disponibilitat en els tres casos, inclòs a la FCR (que, en conseqüència, deixaria de ser obligatòria). Aquest valor de la disponibilitat, a causa de la gran disparitat de pagaments que hi ha per aquests en els diferents mercats europeus, com es pot veure a la [Taula 2](#), s'ha agafat els determinats a [40]. Així es pagarien 5 €/MW per hora per la disponibilitat de FCR i 4 €/MW/h per la FRR aquests valors són relativament baixos dins el rang de valors a escala europea però es troben dins d'aquest rang. Per l'altre costat, la disponibilitat de la RR es paga a un valor inferior al de les reserves primàries i secundàries i, per tant, el seu preu també serà menor amb un valor de 3 €/MW/h. Així el resum dels pagaments seria el que es mostra a la [Taula 3](#).

	<i>Pagaments per capacitat (€/MW/h)</i>	<i>Pagaments per activació (€/MW/h)</i>
<i>FCR</i>	3,87 - 46	0 - 1,5
<i>FRR</i>	3,07 - 18,26	0 - preu de mercat
<i>RR</i>	2,27 - 3,57	0 - 167,53

[Taula 2](#) Taula de pagaments segons el servei del mercat secundari a Europa [40]

En qualsevol cas, el preu per la utilització no es modificaria en cas de la FRR ni de la RR i continuaria essent el preu del mercat secundari de l'energia venuda en el bloc horari corresponent a l'ús de l'energia consumida. En canvi, la FCR passaria de no rebre res a rebre el mateix preu del mercat secundari de l'energia consumida, fent ús d'un mètode com el de Finlàndia i força similar al de França. [16], [41]

Finalment, cal destacar que en aquest estudi no es tindran en compte les penalitzacions per manca de disponibilitat davant d'una crida per part del TSO, ja que, es considera que

l'agregador serà capaç de trobar un segon edifici que pugui aportar l'energia en cas que el primer no disposi de l'energia requerida. És més, l'agregador no sol·licitarà energia a un edifici sense disponibilitat, perquè és la figura de l'agregador qui disposa de la informació d'ambdues bandes i, per tant, si sap que una font d'energia no és capaç de donar l'energia requerida no li sol·licitarà serveis.

El resum del mercat proposat podria ser el que es pot veure a la [Taula 3](#) en forma de taula:

	<i>Mida d'oferta mínim (MW)</i>	<i>Simetria</i>	<i>Pagaments per capacitat (€/MW/h)</i>	<i>Pagaments per activació (€/MW/h)</i>
FCR	1	NO	5	Preu de mercat
FRR	5	NO	4	Preu de mercat
RR	5	NO	3	Preu de mercat

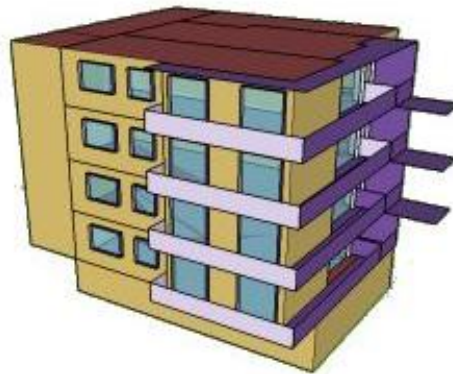
[Taula 3](#) Taula resum del mercat definit i de les hipòtesis establertes

7. Metodologia

Definir el sistema exacte d'estudi permet monetitzar i concretar quins són els costos i quins podrien ser els beneficis. D'aquesta manera, l'estudi es realitza sobre un mateix tipus d'edifici en diferents escenaris, segons quins siguin els serveis que disposa i que poden ser usats per flexibilitzar els seus patrons de consum.

Així, el model d'edifici d'aquest estudi està basat prenent l'edifici de laboratori del projecte SABINA com a referència. Es tracta d'un edifici de quatre plantes amb una vivenda per planta d'aproximadament 105 m² [42], com es pot observar a la [Fig 8](#).

Es considera que l'edifici disposa d'una bomba de calor usada com a sistema de calefacció de l'edifici. A més, i per tal de poder maximitzar també la flexibilitat durant els mesos de maig a octubre (coincidint amb els mesos més calorosos dins dels territoris del sud d'Europa), es tindrà en compte que es disposa d'un sistema de climatització per refrigeració d'aire condicionat. A partir d'ara es referirà als sistemes de calefacció i aire condicionat com a HVAC (*heating, ventilation and air conditioning*).



[Fig 8](#) Representació 3D del model d'edifici [42]

Per l'altra banda, és important remarcar que no totes les càrregues de consum es troben sota el control dels sistemes de flexibilitat (en els casos on aquesta estigui present). Per tant, dins dels consums controlables hi trobaríem els sistemes de HVAC, els cotxes elèctrics (si es dóna el cas) i els frigorífics.

En segon lloc hi hauria els elements que es pot postposar el seu punt d'activació segons quin sigui el millor moment, dins d'aquest grup s'hi encabirien les rentadores o els rentaplats.

En l'últim lloc s'hi troben les càrregues que no es troben sotmeses en cap cas als serveis

de flexibilitat i que, per tant, són els habitants de l'edifici que tenen el seu control absolut com podrien ser llums, televisió, ordinadors, cuina, etc.

Cal tenir en compte que en cap cas hi ha sistemes d'emmagatzematge d'energia basats en bateries, ja que, com es demostra a [40] encara no es troba el mercat suficientment desenvolupat com perquè aquestes puguin ser viables econòmicament.

Els sistemes de producció d'energia considerats també són els estudiats pel projecte SABINA. En conseqüència, l'edifici disposa en tots els casos d'un conjunt de panells solars de 10,4 kWp.

A més, cal tenir present que els EVs podrien actuar també com a generadors en el que s'anomena *vehicle to grid* (V2G). És a dir, les bateries dels vehicles podrien ser usades com a càrregues si aquesta es carrega però, si la bateria es descarrega aportant energia a la xarxa, actuaria com a font d'energia. En qualsevol cas, la viabilitat d'usar els EVs en aquest sentit encara es troba en dubte [43] i, per tant, en aquest estudi no es consideraran com a generadors. Així, en els casos que es considerin EV aquests s'usaran com a càrregues controlables com es fa en el SABINA.

A partir d'aquesta base es desenvolupen els diferents casos d'estudi diferenciats entre ells segons el nivell de flexibilitat energètica que poden arribar a oferir (nul·la, intrínseca o intrínseca i extrínseca). Així es poden definir tres casos diferents:

7.1. Cas 1: cas de referència

El cas de referència seria el cas més bàsic on no apareixeria la flexibilitat. Així, el seu funcionament és el de la majoria d'edificis que disposen de plaques solars actualment. L'energia produïda pels panells senzillament s'exporta a la xarxa independentment de les possibles necessitats d'aquesta i el consum no té cap classe d'adaptació a la producció d'energia que es produeix en el mateix edifici.

D'aquesta manera l'edifici no és capaç de modificar el seu consum. Per tant, no hi ha càrregues posposables ni controlables (són els consumidors que controlen totes les càrregues).

Així, aquest cas no té costos d'inversió inicial, ja que es considera que l'edifici ja disposa de tots els elements. En segon lloc, es calculen els costos del consum de l'edifici com la diferència que hi ha entre el preu del consum d'aquest i els beneficis que té d'exportar energia a la xarxa.

Aquest cas base permetrà veure quins són els beneficis reals de la flexibilitat en les seves distintes fases per comparació. Per poder fer la comparació amb tots els casos estudiats aquest escenari de referència s'ha dividit en dos.

7.1.1. Cas 1.1 Sense vehicle elèctric

Aquest cas presenta el consum elèctric base d'un edifici estàndard amb sistemes de HVAC elèctrics, electrodomèstics, etc.

7.1.2. Cas 1.2 Amb vehicle elèctric

Aquest escenari afegeix al consum base el consum elèctric a causa de la presència del EV. Amb això es permet fer la comparativa real amb aquells casos que disposin de vehicle elèctric.

7.2. Cas 2: flexibilitat intrínseca

En aquest cas ja es contempla que l'edifici és capaç de modificar el seu consum per tal de maximitzar l'autoconsum de l'edifici. Per tant, l'edifici disposa d'un sistema de flexibilitat intrínseca que permet a l'edifici augmentar el seu consum quan hi ha una major generació d'energia a l'edifici i, alhora, reduir els pics de consum d'energia a les hores de menys producció o quan el preu de l'energia elèctrica és més cara.

Actualment ja hi ha alguns edificis que disposen de sistemes per aconseguir un major autoconsum i empreses que es dediquen a la instal·lació d'aquests sistemes, encara que solen estar enfocats sobretot a edificis públics o del sector secundari i terciari.

En aquest cas els sistemes que permeten regular el consum són els sistemes d'HVAC i frigorífics, com a càrregues controlables, i rentadores i rentaplats com a càrregues posposables.

En aquesta situació s'hi troben els costos d'instal·lar un sistema que sigui capaç de mesurar i controlar el consum de l'edifici. Mentre que els beneficis es poden trobar, per una banda, en la reducció d'importació d'energia de la xarxa (encara que també hi hagi una reducció de les exportacions) i, per l'altra banda, en la reducció dels costos de consum gràcies a moure el consum de les càrregues posposables a hores on el preu de l'energia sigui menor.

7.3. Cas 3: flexibilitat intrínseca i extrínseca

El darrer cas es tracta d'un cas similar al cas 2 però que se li afegeix la flexibilitat

extrínseca. És a dir, per una banda l'edifici és capaç d'adaptar el seu consum per intentar maximitzar l'autoconsum. Però a més, per l'altre costat, l'edifici també dona serveis a la xarxa. En aquest punt seria on entraria la figura de l'agregador que fa de peça intermèdia entre els edificis agregats i el DSO (*distribution system operator*) o TSO (*transmission system operator*). Com que l'estudi busca la viabilitat econòmica de la flexibilitat aquest agregador realitzarà les decisions pertinents amb la intenció de maximitzar el benefici monetari per al prosumer (com és el cas de la majoria d'estudis, però no del SABINA).

En aquest sentit, el SABINA distingeix dos tipus diferents en la figura de l'agregador segons quina sigui la interacció que hi ha entre els prosumers i el mateix agregador. Així, l'agregador es pot definir com:

- Centralitzat: Es posa el focus sobre les necessitats del DSO o TSO i usa la flexibilitat oferida pels prosumers com a una font més amb què es pot disposar en cas de necessitat. És a dir, s'orienta l'agregació al sistema i el control sobre els edificis el té l'agregador. Dins del model centralitzat es fan distincions depenent del grau de coneixement que té l'agregador del consum dels edificis. Aquestes distincions van des d'un coneixement absolut (*perfect*) fins a un model inflexible (sense algoritmes predictius), passant pel model determinista (el model sap els esdeveniments més importants de l'edifici) i l'intel·ligent (on hi ha un algoritme que prediu què és més probable que ocorri).
- Distribuït o descentralitzat: En aquest cas l'agregació s'orienta als prosumers i, per tant, són ells els qui ofereixen els serveis a l'agregador que després s'encarregarà de vendre al mercat. Aquí hi apareixen les teories de joc i les seves conseqüents opcions de competitivitat i cooperació.

En aquest sentit, aquest estudi agafa el model d'agregador del SABINA amb un model força centralitzat però amb la mínima informació disponible possible per tal d'evitar una excessiva càrrega de càlcul i on la decisió final la té l'edifici. La diferència amb l'agregador del SABINA i el d'aquest estudi, com s'ha dit més amunt, és l'objectiu d'aquest agregador. Així en aquest estudi l'agregador busca el màxim benefici per als edificis, mentre que al SABINA l'agregador busca reduir al mínim les emissions de CO₂.

Aquest Cas 3 és el que permetria veure quin és l'efecte de flexibilitzar tot el sistema mitjançant l'entrada de l'agregació en els serveis de balanceig de la xarxa. Aquesta entrada s'efectuaria en els serveis de resposta primària (FCR) i secundària (FRR) que són els que realment l'agregació d'edificis hi pot tenir un pes més important [40]. En aquest punt és important remarcar que en el model de mercat proposat a l'estudi la FCR deixaria de ser obligatòria i hi hauria una compensació econòmica en motiu d'incentivar la participació activa dels prosumers en aquest mercat. Així, com s'ha comentat a l'apartat de *Definició del*

mercat i hipòtesis assumides els pagaments per a aquests dos serveis són tant per oferta de capacitat com per activació ([Taula 3](#)).

Així, seguint el model de [40], la capacitat de flexibilitat estarà dividida en un 80% per donar resposta als serveis de la FRR i el 20% pels de la FCR.

Per una banda, la FCR farà activacions contínues de resposta molt ràpida i de magnituds menors [40].

Per l'altre costat, les ofertes de flexibilitat de l'edifici en el mercat de resposta secundària de la freqüència (FRR) es portaran a terme en un moment que hi hagi flexibilitat disponible independentment de l'hora. Això és així perquè, com diu [40], la major part dels beneficis s'obtenen gràcies a l'oferta de capacitat per sobre dels beneficis de les activacions i, per tant, com més ample és el ventall d'oportunitat d'oferir, millor.

En aquest sentit, també és important mencionar que, si l'edifici no és capaç de donar una resposta afirmativa davant del requeriment d'activació per part de l'agregador, no hi ha pagament per oferta de capacitat tampoc. En qualsevol cas, per aquest estudi es considera que l'edifici sempre és capaç de donar una resposta afirmativa als requeriments de l'agregador (cas ideal).

A més, és important tenir en compte que després d'una activació requerida per part de l'agregador el consum previst de l'edifici es veurà truncat. Això és degut al fet que el consum previst en un altre moment es produirà per donar resposta a les necessitats de la xarxa. Així en les hores següents el consum es trobarà condicionat per retornar a la normalitat, és el que s'anomena efecte rebot. Per exemple, a la [Fig 9](#) es pot observar com a les 7h hi ha una gran diferència entre el consum real i l'esperat on el consum real és molt superior, això correspon a una activació. Després es pot observar com en les hores següents el consum real és molt més baix del previst, aquest és l'anomenat efecte rebot [44].

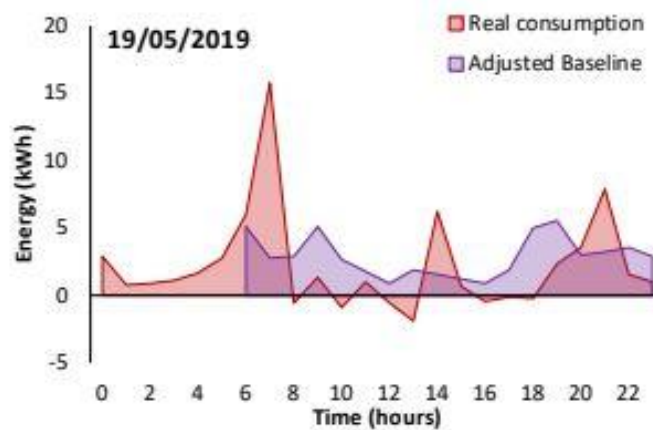


Fig 9 Comparativa entre el consum real (vermell) i el consum esperat (lila) de l'edifici del SABINA després d'una activació a les 7h [44].

La imprevisibilitat de l'efecte rebot es troba tant en quin serà el comportament del consum com en quina serà la seva durada. La principal dificultat resideix en el fet que, per avaluar l'efecte rebot, aquest s'ha d'estudiar a partir d'una estimació del consum que pot no complir-se encara que no hi hagi cap activació.

Per tant, de la mateixa manera que en el projecte SABINA no es contemplen activacions durant el temps que dura l'efecte rebot d'una activació [44]. A més, i per causa de la incertesa de la durada que pot tenir aquest efecte rebot, només es contempla una activació per dia com en el SABINA. De totes maneres, pel fet que encara no és possible saber quin serà l'efecte rebot després d'una activació, aquest estudi considerarà que el consum durant una activació es recuperarà després amb l'efecte rebot (cas ideal), així el consum total de l'edifici seria el mateix que quan no hi ha activacions. És el que s'anomena una eficiència de 1 p.u. de l'efecte rebot.

Resumint, l'agregador primer avalua el mapa de flexibilitat de l'edifici. Després decideix a quin moment del dia és millor fer l'oferta al mercat i envia un senyal d'activació a l'edifici.

Per aquest estudi, com en el SABINA, es considera que les activacions són del 30% de l'energia total oferida [45]. Com que no es contempla una resposta negativa de l'edifici a una activació sempre hi haurà una activació per dia del 30% de l'oferta feta en una hora en concret (l'hora que pugui aportar un màxim benefici).

Per últim, els efectes de l'efecte rebot en el consum de l'edifici es considera que és d'una eficiència de 1 p.u., així el consum al final del dia serà el mateix que hi hauria hagut si no s'hagués produït cap activació.

7.3.1. Cas 3.1 Sense vehicle elèctric

En primer lloc, es farà l'estudi sense cotxe elèctric. Per tant, hi haurà una peça menys per poder flexibilitzar el consum. Així els elements que poden oferir flexibilitat serien els mateixos que en el Cas 2: flexibilitat intrínseca, afegint però la figura de l'agregador i, per tant, l'entrada a donar serveis de balanceig de la xarxa.

7.3.2. Cas 3.2 Amb vehicle elèctric

Es considera l'entrada d'un sol EV (*electric vehicle*) dins l'edifici per tal de veure com podria afectar en els patrons de consum. Aquest vehicle és també el que s'usa en les simulacions fetes en el projecte SABINA, i es tracta d'un vehicle elèctric de 24 kWh de capacitat i de càrrega lenta (3,7 kW max) [42]. En aquest sentit, no es tracta només de veure quin seria l'augment del consum sinó que també s'avaluaria el cotxe com una peça interessant per oferir més flexibilitat.

Això és gràcies al sistema de càrrega intel·ligent de l'edifici. D'aquesta manera el cotxe es carregarà en funció de les previsions de les necessitats de càrrega d'aquest i durant quant temps es trobarà connectat. Així la seva càrrega es trobarà sota el control de les necessitats de l'edifici o la xarxa sempre que s'hagi assolit l'estat de càrrega necessari a l'hora prevista que el cotxe serà desendollat i sempre que no s'incompleixi el mínim de càrrega de la bateria en tot moment per poder ser usat en cas d'emergència.

D'aquesta manera l'esquema general de l'estudi seria el següent de la [Taula 4](#):

	PV	HVAC	Càrregues posposables	Flexibilitat intrínseca	Flexibilitat extrínseca	Cotxe elèctric
Cas 1.1	✓	✓	✗	✗	✗	✗
Cas 1.2	✓	✓	✗	✗	✗	✓
Cas 2	✓	✓	✓	✓	✗	✗
Cas 3.1	✓	✓	✓	✓	✓	✗
Cas 3.2	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Taula 4 Taula resum dels casos estudiats

7.4. Restriccions

És important remarcar que cada una de les càrregues té unes restriccions que s'han de complir per no reduir la comoditat dels residents de l'edifici, per tant, els algoritmes no tenen el control absolut de les càrregues i sempre han de complir amb les restriccions.

En primer lloc, pels sistemes de HVAC la temperatura s'ha de mantenir sempre sobre una temperatura entre un rang acceptable per la sensació tèrmica de les persones. De la mateixa manera que en el SABINA aquesta temperatura de confort es troba entre els 20°C i els 25°C (depenent de la humitat, l'estació de l'any, la roba, etc.) durant el dia i d'uns 18°C durant la nit. Per altra banda, el rang de sensació tèrmica acceptable és de $\pm 3^\circ\text{C}$.

En segon lloc, els electrodomèstics de la casa també tenen unes restriccions que s'han de complir. En aquest sentit els frigorífics poden oferir flexibilitat mitjançant el posposament/avançament del seu procés de refrigeració (usant-se de manera similar que un sistema d'emmagatzematge d'energia) donant una resposta ràpida. Com en el [46] el comportament del frigorífic no pot ser modificat per més de 15 min seguits i sempre dins un rang de $\pm 1,5^\circ\text{C}$ de la temperatura nominal.

Per l'altre costat, i seguint el model de [47], les rentadores i rentaplats només es pot posposar el seu moment d'inici del cicle però aquests no es pot interrompre una vegada iniciat, a diferència del que es proposa a [46]. A més el cicle s'ha de completar abans de la *deadline* definida per l'usuari.

Per l'altra banda, el vehicle elèctric també cal que pugui ser usat en qualsevol moment que sigui requerit per l'usuari, així es defineix un mínim de l'estat de càrrega de la bateria (*State of Charge* (SoC)) del 85% en tot moment. Aquest SoC s'ha agafat seguint el model definit per [46]. Per l'altra banda el límit superior és del 100% del SoC.

De la mateixa manera que en el SABINA, els panells solars no poden ser desconnectats de la xarxa en cap moment [45], per tant, no hi ha la possibilitat d'aturar la producció PV.

8. Dades de partida i càlculs

8.1. Cas 1

El punt de partida és saber quin és el consum d'energia mitjà anualment per part d'un edifici. Aquest consum s'ha calculat de dues formes:

- En primer lloc, s'ha portat a terme una recerca per extreure el consum mitjà a l'estat espanyol. Així, les dades de consum d'electricitat a Espanya per habitatge és de 9922 kWh per any [48], [49], el que fa un consum total de l'edifici de 39700 kWh/any, sense vehicle elèctric.
- En segon lloc, s'ha mirat quin és el consum de l'edifici estudiat en les simulacions del projecte SABINA, i que és el mateix per aquest estudi. Aquest consum anual de l'edifici sense vehicle elèctric seria així de 44815 kWh/any.

Es pot observar que el consum en l'edifici del SABINA és força major al de la mitja espanyola, la causa d'això és que els sistemes de calefacció en el SABINA són elèctrics, fet que no es compleix sempre a l'estat espanyol. Així s'ha considerat que el consum extret de les dades del SABINA són més realistes i, per tant, el consum de l'edifici sense EV és de 44800 kWh/any.

Consegüentment, el consum de l'edifici amb vehicle elèctric (Cas 1.2 Amb vehicle elèctric) també s'ha extret del model del SABINA. L'entrada d'un EV suposa un augment del consum elèctric de l'edifici del 12,28%, tenint com a resultat un consum de 50300 kWh per any.

Per altra banda, el preu mitjà final per a l'energia elèctrica en un habitatge (independentment del distribuïdor) és d'uns 0,1133 €/kWh [50].

Pel que fa a la generació d'energia per part de les plaques solars també s'ha calculat de dues maneres diferents:

- Per una banda, s'ha extret l'energia anual produïda per les plaques PV del projecte SABINA a partir de les dades de generació de cinc dies de simulació. Aquestes dades s'han amitjanat per extreure els kWh/dia i després s'ha multiplicat aquest valor per 365 dies. Amb això s'ha obtingut una generació de 13362,49 kWh/any.
- Per l'altra banda, de la pàgina de la EC [51] s'ha extret la generació d'uns panells solars de 10,4 kWp. Aquesta plataforma permet saber quina irradiació solar hi ha anualment a la geografia elegida al mapa i afegint els paràmetres de les plaques

solars calcula la generació anual. Així s'ha elegit com a ubicació Barcelona, amb unes plaques instal·lades sobre un edifici i amb els paràmetres de les plaques solars predefinits pel software que es poden veure a la Fig 10. Amb això s'obté una generació anual de 15597,86 kWh.

Es pot observar que la diferència entre les dades del SABINA respecte a l'aproximació emprada per la EC és del 14,33%. En qualsevol cas s'ha considerat que la generació obtinguda del projecte SABINA s'acosta més a la realitat, ja que els valors usats són els que realment tenen les plaques i no són uns valors predefinits i arbitraris. Així la generació anual emprada pels càlculs és de 13400 kWh/any.

Summary	
↓	
Provided inputs:	
Location [Lat/Lon]:	41.382, 2.173
Horizon:	Calculated
Database used:	PVGIS-SARAH
PV technology:	Crystalline silicon
PV installed [kWp]:	10.4
System loss [%]:	14
Simulation outputs:	
Slope angle [°]:	35
Azimuth angle [°]:	0
Yearly PV energy production [kWh]:	15597.86
Yearly in-plane irradiation [kWh/m ²]:	1968.54
Year to year variability [kWh]:	377.27
Changes in output due to:	
Angle of incidence [%]:	-2.56
Spectral effects [%]:	0.72
Temperature and low irradiance [%]:	-9.73
Total loss [%]:	-23.81

Fig 10: Paràmetres de i generació de les plàques PV per la EC [51].

D'altra banda, el preu del mercat diari espanyol mitjà amb què s'ha pagat la generació d'energia durant el 2019 ha estat de 0,04778 €/kWh [52], amb una baixada relativa respecte al 2018 del 16,6% [53]. Aquest preu mitjà és el que s'ha considerat com a pagament per l'energia produïda per les plaques solars al llarg de l'any.

A partir d'aquí s'han calculat els costos i beneficis que, per aquest cas senzillament

consisteix a multiplicar les importacions i les exportacions pels seus respectius pagaments.

Un cop es tenen tots els valors necessaris s'ha calculat el total que paga l'edifici cada any segons l'Eq 1.

$$\text{Eq 1} \quad \text{Total} = \text{Cost importacions} + \text{Benefici exportacions}$$

Així, els resultats es poden veure a la Taula 5.

	Cas 1.1	Cas 1.2
Importacions [kWh/any]	44800	50300
Cost importacions [€/kWh]	-5080	-5700
Exportacions [kWh/any]	13400	13400
Benefici exportacions [€/kWh]	640	640
Total [€]	-4436	-5059

Taula 5 Taula de costs i beneficis del cas 1

8.2. Cas 2

Les dades que s'empren per al cas base (Cas 1) també són vàlides per aquest cas, des de la generació anual de les plaques PV fins al preu de l'energia importada de la xarxa a l'edifici. Però no amb les importacions i exportacions d'energia anuals del primer cas, ja que amb els sistemes de flexibilitat intrínseca la importació de la xarxa es veu reduïda per un augment de l'autoconsum de les plaques solars.

Pel que fa a les càrregues posposables (rentaplats i rentadores) es pot observar a [47], [49], [54] que hi ha un comportament diferent en l'ús d'aquestes càrregues per part dels usuaris. Així, per un costat, els rentaplats es configuren sobretot a les darreres hores del dia (entre les 21 i les 24), mentre que per l'altre, les rentadores tenen més configuracions als matins (de les 9 a les 14) encara que es troben més distribuïdes al llarg del dia. També es pot veure que l'hora límit (*deadline*) perquè cicle s'hagi realitzat és també diferent, en concret són 8,5 hores i 7,3 hores després de la configuració de l'usuari per rentaplats i rentadores respectivament.

Per tant, es considera que els rentaplats postposen el seu consum fins a les hores de la nit on el consum i els preus són més baixos (després de les hores del vespre quan hi ha el pic de consum i abans de 8,5 hores). Per la seva banda, les rentadores efectuaran el seu consum en les hores del dia quan hi ha més generació d'energia per part de les plaques solars (de les 9 a les 16 pel model del SABINA, coincidint amb les hores de més irradiació solar Fig 11).

D'aquesta manera, els rentaplats no podrien consumir quan hi ha producció PV sinó que passarien de la tarifa diürna a la nocturna, això suposa de pagar una mitja de 0,1633 €/kWh (preu hora punta) a 0,0839 €/kWh (preu hora vall) [55]. Aquest canvi suposaria una reducció del cost energètic del rentaplats d'entre el 20 i el 35% [56] (sabent que els rentaplats suposen el 6,1% del consum mitjà de les llars espanyoles [57]). Per la seva banda les rentadores sí que usarien sempre l'energia produïda a l'edifici, reduint així les importacions d'energia de la xarxa. Una rentadora pot consumir entre poc menys de 200 kWh/any (les de millor classificació energètica [58]) a una mitja d'aproximadament 255 kWh anuals [59]. Per aquest estudi s'ha considerat un consum de 255 kWh/any.

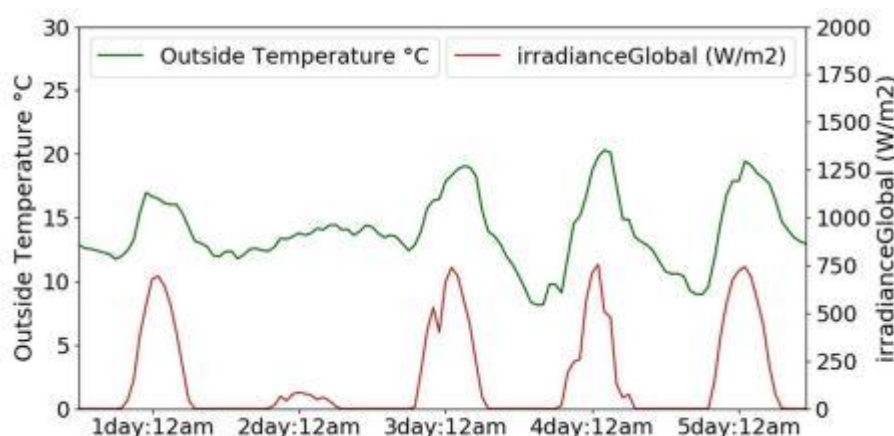


Fig 11: Temperatura i irradiació solar dels cinc dies de simulació del SABINA.

Pel que fa als frigorífics es modela el seu comportament seguint el que proposa [46], així es té un cicle amb un període de 45 minuts i un temps d'activitat per cada període de 15 minuts. Així, per aquest segon cas els frigorífics no aporten grans beneficis, ja que el seu cicle de consum no permet aprofitar les hores de més sol o de preus més baixos perquè sempre estan consumint. Tot i això [60] proposa que un ús energètic més eficient d'un frigorífic podria comportar una reducció del consum de 152 kWh/any, el que suposa una reducció del 50% del consum del mateix frigorífic durant un mes [60], [61].

Per últim, pel que fa als sistemes de HVAC, encara que tenim per una banda la calefacció i per l'altra els sistemes d'aire condicionat, es consideren com una mateixa unitat de consum. Això és gràcies a l'estacionalitat inversa del seu consum, així a l'època de l'any que un

consumeix l'altre no ho fa.

En qualsevol cas, el consum de per climatització tèrmica dels edificis a Espanya suposa al voltant d'un 50% del consum total d'energia [62] (dada que es corrobora amb les simulacions fetes al SABINA). A diferents estudis ([63]–[65]) es pot comprovar com un control automàtic enfocat a maximitzar l'eficiència energètica fent ús de la inèrcia tèrmica dels edificis i, per tant, consumint quan hi ha més producció d'energia de fonts renovables es pot obtenir una reducció dels costos energètics d'entre el 13% i el 25%. Per aquest estudi s'agafarà un punt intermedi d'aquest rang de i es considerarà una reducció del cost energètic per HVAC del 20%.

Aquest últim valor es corrobora també amb els valors de reducció de costos energètics que Dexma ofereix amb els seus serveis d'automatització de la climatització a empreses del sector terciari (rang aproximat d'entre el 10 i el 20% depenent de l'eficiència energètica prèvia de les empreses). Aquests valors s'han obtingut gràcies a l'**entrevista telefònica** que s'ha realitzat a Miguel Cruz (vicepresident de serveis i desenvolupament empresarial de Dexma) (Més informació a l'Annex).

Amb tot, l'exportació d'energia passaria de ser de 13400 kWh/any (que és la generada total) a 2900 kWh/any (també segons dades del SABINA), coincidint l'exportació d'energia amb les hores de màxima radiació. Aquesta reducció de les exportacions és gràcies a l'autoconsum més gran aconseguit amb els sistemes que aporten flexibilitat intrínseca, així encara que hi hagi una menys exportacions també hi ha menys importacions.

Cost d'implementació s'ha extret fent una aproximació generalista entre les dades trobades a [66], [67], de l'**entrevista** amb Miguel Cruz i de la **consulta** realitzada a AEM (*Advanced Energy Management*) (Més informació a l'Annex). Així s'ha extret un ventall d'entre 1050€ i 4000€ aproximadament. D'aquest ventall no s'ha agafat ni l'opció més optimista, ni la més fatalista, sinó que s'ha agafat un valor intermedi d'uns 2500€.

Així s'ha fet el càlcul de quins beneficis aportarien cada un dels elements anteriors amb l'entrada dels sistemes d'automatització. És important remarcar que per realitzar aquests càlculs s'ha considerat el cost base del *Cas 1* (negatiu) i les reduccions sobre aquest cost base com a beneficis (positiu) calculades segons l'[Eq 2](#). Pel que fa a les exportacions d'energia s'han calculat com en el cas anterior.

$$\text{Eq 2} \quad \text{Benefici} = \text{Consum element} * \text{Marge de benefici element}$$

Amb això s'ha calculat el total del cost energètic que ha de pagar l'edifici, per això els costos s'han considerat com a negatius i els estalvis energètics com a beneficis (positius). D'aquesta manera el total s'ha calculat seguint l'[Eq 3](#).

$$Eq\ 3 \quad Total = Cost\ base + Benefici\ exportacions + Benefici\ estalvi\ energètic$$

Així el resum de dades usades pels càlculs de la viabilitat econòmica serien els següents presentats a la [Taula 6](#).

	Cas 2
<i>Inversió inicial [€]</i>	-2500
<i>Consum [kWh/any]</i>	44800
<i>Cost base [€/any]</i>	-5080
<i>Generació PV [kWh/any]</i>	13400
<i>Exportacions [kWh/any]</i>	2900
<i>Benefici exportacions [€/any]</i>	138,6
<i>Estalvi rentaplats [€/any]</i>	82,28
<i>Estalvi rentadores [€/any]</i>	115,6
<i>Estalvi frigorífics [€/any]</i>	68,88
<i>Estalvi HVAC [€/any]</i>	507,6
<i>Estalvi energètic total [€/any]</i>	774,3
<i>Total [€/any]</i>	-4163

[Taula 6](#) Taula resum de costos i beneficis del cas 2

A partir d'aquí s'ha realitzat l'estudi de viabilitat econòmica en si. Per fer aquest estudi s'han calculat el VAN, la TIR i el període de retorn. Per al VAN, s'han agafat diferents taxes d'interès per veure quin afecte tenen sobre els resultats finals, aquestes taxes són de l'1, 3, 5, 7 i 10%. A més, l'horitzó dels càlculs s'ha fet a 15 anys vista. Per la seva banda, el benefici anual per cada període s'ha considerat com a la diferència entre el total del **¡Error!** **No se encuentra el origen de la referencia..1** i el total d'aquest cas.

Amb això, els resultats de la viabilitat del Cas 2 són els que es presenten a la [Taula 7](#).

	1%	3%	5%	7%	10%
VAN [€]	1280	754,7	329,9	-16,86	-426,3
TIR [%]	6,893				
Període de retorn [anys]	9				

Taula 7 Taula de resultats de la viabilitat del Cas 2

8.3. Cas 3.1

En aquest cas hi ha el mateix sistema de control de les càrregues per tal de maximitzar l'autoconsum. Per tant les dades definides pel Cas 2 són vàlides també per aquest cas. La diferència és que també s'ha de tenir en compte l'efecte de l'agregació d'energia i l'entrada al mercat de balanceig de la xarxa.

El càlcul de la capacitat oferida per l'edifici s'ha fet gràcies a les dades de cinc dies de simulació del projecte SABINA. Aquestes dades presenten la flexibilitat de l'edifici horàriament segons la seva capacitat de consumir més o menys durant aquella hora. Amb això s'ha procedit a fer la seqüència següent per cada dia de la simulació:

- Primer s'ha calculat la flexibilitat oferida, tant per augmentar el consum com per reduir-lo, per la FCR i per la FRR per separat. Així el 20% de la flexibilitat es correspon a la FCR i la resta a la FRR.
- Amb aquesta flexibilitat horària per pujada i baixada del consum es calcula la flexibilitat total oferida per hora i per mercat.
- En aquest punt el procediment per la FCR i per la FRR divergeix. Per la FCR se sumen totes les flexibilitats horàries per extreure la capacitat oferida per dia. Per la seva banda, la FRR només ofereix una hora al dia (a l'hora que més beneficis pot reportar), així la seva capacitat diària és aquella que es correspon amb la flexibilitat a l'hora que hi ha més guanys d'activació més d'oferta de capacitat.
- Un cop es tenen les flexibilitats dels cinc dies s'extreu quina és la mitjana de capacitat que ofereix l'edifici per la FCR i per la FRR per separat.

Així per la FCR s'ha extret una capacitat mitjana de 27,86 kWh per dia, mentre que, per la seva banda la capacitat diària de la FRR és de 6,45 kWh.

Pel que fa als pagaments per la capacitat oferida són els que es troben a la [Taula 3](#) de la Definició del mercat i hipòtesis assumides. Així, amb les capacitats anteriors i amb els pagaments per capacitat corresponents es tenen uns pagaments diaris per capacitat de 0,14 € i 0,03 € per la FCR i FRR respectivament.

Per l'altre costat, per poder calcular els pagaments per activació primer s'ha calculat la mitja del preu de la banda de regulació secundària del 2019, aquesta és d'uns 8,32 €/MWh [52]. Amb això s'han buscat cinc dies consecutius dins d'un mes amb una mitjana de preus similar a la mitjana anual. Aquests dies són del dia 19 al 23 de Gener del 2019. Així el procediment pel càlcul de l'activació ha estat el següent:

- Primer, per cada un dels dies, s'ha fet correspondre el pagament horari del mercat secundari espanyol amb les hores de les dades del SABINA.
- Per una altra banda, s'extreu el 30% de la capacitat de flexibilitat total per hora.
- Després tant per la FCR com per la FRR es multiplica el preu horari de la banda secundària pel 30% d'activació horària de cada un dels serveis.
- A aquest punt els càlculs de la FCR i de la FRR se separen en dos mètodes diferents. Per una banda, un cop es tenen els pagaments horaris per activació de la FCR es fa el sumatori de totes les hores per poder extreure el pagament diari per activació. En canvi, per la FRR es fa primer el sumatori per cada hora del pagament per capacitat més el d'activació, i d'entre les 24 possibles hores d'activació s'elegeix la que té un pagament total màxim.
- Finalment, com amb el càlcul de l'oferta diària de capacitat, es treu la mitja de quins serien els pagaments per activació dels cinc dies.

Amb tot, els pagaments diaris per activació, per capacitat i els totals es poden veure a la [Taula 8](#).

	<i>FCR</i>	<i>FRR</i>	<i>Total</i>
<i>Oferta capacitat [kWh/dia]</i>	27,86	6,45	--
<i>Pagament capacitat [€/dia]</i>	0,14	0,03	0,17
<i>Pagament activació [€/dia]</i>	0,11	0,04	0,14
<i>Pagament total [€/dia]</i>	0,25	0,06	0,31

Taula 8 Taula de l'oferta i els corresponents beneficis per capacitat i activació de l'edifici ple cas 3.1.

S'ha de tenir en compte que dels pagaments que es troben a la taula de la [Taula 8](#) només el 80% són destinats a l'edifici, ja que, l'altre 20% és la part que es quedaria l'agregador pels serveis [45].

Per la seva banda, les exportacions de l'energia sobrant de les plaques PV no es considera que variïn de 2900 kWh per any.

Per un altre costat, el consum total de l'edifici es considera que serà el mateix que en el Cas 2. La causa d'això és, com ja s'ha dit, perquè considera que l'efecte rebot té una eficiència de 1 p.u. i que el cost serà equivalent considerant el de la mateixa hora de l'activació.

Pel que fa als costos d'implementació de la flexibilitat extrínseca, s'ha considerat que si l'edifici ja disposa de sistemes de mesura del consum, de mesura de la generació, d'automatització de la resposta de la demanda, etc. només es necessitaria que aquest sistema ja implementat establís una comunicació amb l'agregador. Així, en relació amb el cas anterior no es veuen costos d'implementació significatius que, en tot cas, quedarien coberts pel tant per cent que l'agregador s'emporta dels beneficis de l'edifici. Aquest sistema és força similar, per exemple, el que tenen les companyies distribuïdores d'electricitat, on donar-se d'alta i la instal·lació de comptadors no té cap cost, ja que l'objectiu d'una companyia distribuïdora (com l'agregador) és tenir el màxim de clients possible, però després mensualment els usuaris finals han de pagar una part en concepte de lloguer de comptadors.

Amb totes les dades, s'ha realitzat el càlcul del total que paga l'edifici per any, sense tenir en compte la inversió inicial. A l'[Eq 4](#) es pot veure com s'ha calculat el total per aquest cas i pel següent.

$$\text{Total} = \text{Cost base} + \text{Benefici exportacions} + \text{Benefici estalvi energètic} + \text{Benefici mercat balanceig}$$

Eq 4

Així, seguint els càlculs explicats en el cas anterior i en aquest s'obté que anualment hi ha els següents resultats (Taula 9).

	Cas 3.1
Inversió inicial [€]	-2500
Consum [kWh/any]	44800
Cost base [€/any]	-5080
Generació PV [kWh/any]	13400
Exportacions [kWh/any]	2900
Benefici exportacions [€/any]	138,6
Estalvi rentaplats [€/any]	82,28
Estalvi rentadores [€/any]	115,6
Estalvi frigorífics [€/any]	68,88
Estalvi HVAC [€/any]	507,6
Estalvi energètic total [€/any]	774,3
Benefici capacitat [€/any]	60,69
Benefici activació [€/any]	52,58
Benefic flexibilitat extrínseca (agregador + edifici) [€/any]	113,3
Benefic flexibilitat extrínseca (agregador + edifici) [€/any]	90,62
Total [€/any]	-4072

Taula 9 Taula resum de costos i beneficis del cas 3.1

Com en el cas anterior també s'ha realitzat un càlcul del VAN, la TIR i del període de retorn. A més, s'ha fet ús del mateix horitzó i les mateixes taxes d'interès que en el **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..** També el benefici anual s'ha calculat comparant el total d'aquest cas amb el total de Cas 1.1.

Els valors obtinguts es poden veure a la [Taula 10](#).

	1%	3%	5%	7%	10%
<i>VAN [€]</i>	2537	1836	1270	808,5	262,9
<i>TIR [%]</i>	11,81				
<i>Període de retorn [anys]</i>	7				

Taula 10 Taula de resultats de la viabilitat del Cas 3.1

8.4. Cas 3.2

Per aquest cas l'única diferència amb el cas anterior és l'entrada d'un cotxe elèctric com un altre element de consum i, en conseqüència, de flexibilitat de l'edifici.

Així, les dades de l'oferta de capacitat i els pagaments dels mercats de regulació de la freqüència com la flexibilitat de l'edifici s'han extret de la mateixa manera que en el Cas 3.1, però amb les dades del SABINA on hi entra la figura del EV.

L'oferta de capacitat diària de l'edifici per aquest escenari és de 33,85 kWh i 10,15 kWh pels mercats primaris i secundaris de la freqüència respectivament. Per tant, els pagaments per oferta són de 0,17 €/dia per la FCR i de 0,04 euros diaris per la FRR. Per l'altra banda, els pagaments per activació per la FCR són de 0,13 €/dia. Mentre que per la FRR és de 0,09 €/dia.

Així, la [Taula 11](#) presenta el resum de l'oferta de capacitat i dels beneficis d'entrada al mercat de balanceig de la xarxa per part de l'edifici:

	FCR	FRR	Total
Oferta de capacitat [kWh]	33,85	10,14	--
Pagament capacitat [€/dia]	0,17	0,04	0,21
Pagament activació [€/dia]	0,13	0,05	0,18
Pagament total [€/dia]	0,30	0,09	0,39

Taula 11 Taula de l'oferta i els corresponents beneficis per capacitat i activació de l'edifici pel cas 3.2.

Per aquest cas, el consum base és el del Cas 1.2 Amb vehicle elèctric, i per tant, l'edifici anualment consumeix 50300 kWh/any.

De la mateixa manera que amb la resta d'elements de flexibilitat la càrrega intel·ligent del vehicle elèctric suposa una reducció del cost del seu consum, en concret es redueix en un 7,4% el seu cost energètic segons [68]. I el consum elèctric del vehicle respecte a l'edifici és del 9% segons les dades del SABINA.

A més, com s'ha dit en el cas anterior, les exportacions de l'energia solar PV de les plaques de l'edifici no variarien i serien d'uns 2900 kWh/any.

Pel que fa als costos que difereixin del cas anterior només es troben els que es relacionen amb el EV. En aquest sentit no es considera que el cost del vehicle elèctric sigui part dels costos directament relacionats amb la flexibilitat elèctrica, això es deu al fet que el motiu principal per comprar un vehicle (elèctric o no) és per mobilitat. En qualsevol cas sí que es considera que el cost de la instal·lació d'un punt de càrrega intel·ligent a l'edifici és un factor important a tenir en compte per la flexibilitat. Per aquest punt cal tenir en compte que les torres de càrrega V2G (coma a carregadors intel·ligents) encara no es troben comercialitzades al públic general, encara que ja hi ha alguns estudis de prototips [69], [70]. Així, per fer una aproximació s'ha considerat una la instal·lació d'un punt de càrrega V2G té el mateix preu que un punt de càrrega corrent. D'aquesta manera, per un garatge privat un punt de càrrega té un preu aproximat de 750 €/m d'instal·lació [71]. Així agafant un màxim de 2 metres d'instal·lació el punt de càrrega tendria un cost de 1500€.

Per aquest cas el total s'ha calculat seguint l'Eq 4 igual que en el cas anterior. Resumint, els costos i beneficis del cas 3.2 es pot veure a la **Taula 12**.

	Cas 3.2
<i>Inversió inicial [€]</i>	-4000
<i>Consum [kWh/any]</i>	50300
<i>Cost base [€/any]</i>	-5700
<i>Generació PV [kWh/any]</i>	13400
<i>Exportacions [kWh/any]</i>	2900
<i>Benefici exportacions [€/any]</i>	138,6
<i>Estalvi rentaplats [€/any]</i>	82,28
<i>Estalvi rentadores [€/any]</i>	115,6
<i>Estalvi frigorífics [€/any]</i>	68,88
<i>Estalvi HVAC [€/any]</i>	507,6
<i>Estalvi EV [€/any]</i>	37,96
<i>Estalvi energètic total [€/any]</i>	812,3
<i>Benefici capacitat [€/any]</i>	76,59
<i>Benefici activació [€/any]</i>	66,05
<i>Benefic flexibilitat extrínseca (agregador + edifici) [€/any]</i>	142,6
<i>Benefic flexibilitat extrínseca (agregador + edifici) [€/any]</i>	114,1
<i>Total [€/any]</i>	-4634

Taula 12 Taula resum de costs i beneficis del cas 3.2

Aquest escenari, a diferència dels dos anteriors, no es pot comparar amb el Cas 1.1 perquè l'augment del consum a causa del cotxe elèctric desvirtuaria els resultats. Per tant, el Cas 3.2 es compara amb l'escenari 1.2, que ja contempla el consum d'un vehicle elèctric sense

sistemes de flexibilitat. Així, aquí el benefici anual respecte el cas base es fa fent la resta del total d'aquest cas menys el total del Cas 1.2.

Per la resta, els càlculs realitzats són els mateixos que en la resta de casos. D'aquesta manera, s'ha calculat el VAN per unes taxes d'interès iguals a l'1, el 3, el 5, el 7 i l'11%; la TIR i el període de retorn.

Els resultats de la viabilitat econòmica es poden veure a la [Taula 13](#).

	1%	3%	5%	7%	10%
<i>VAN [€]</i>	1888	1070	408,3	-131,9	-769,7
<i>TIR [%]</i>	6,474				
<i>Període de retorn [anys]</i>	11				

[Taula 13](#) Taula de resultats de la viabilitat del Cas 3.2

De forma resumida i concisa, els resultats econòmics de cada cas es poden veure a la següent [Taula 14](#).

	Cas 1.1	Cas 2	Cas 3.1	Cas 1.2	Cas 3.2
<i>Inversió inicial [€]</i>	0	-2500	-2500	0	-4000
<i>Benefici exportacions [€/any]</i>	640,3	138,6	138,6	640,3	138,6
<i>Benefici estalvi energètic [€/any]</i>	0	774,3	774,3	0	812,3
<i>Benefici mercats [€/any]</i>	0	0	90,62	0	114,1
<i>Total [€/any]</i>	-4435	-4163	-4072	-5059	-4634
<i>Benefici resp. cas base [€/any]</i>	--	272,6	363,3	--	424,7
<i>VAN (1%) [€]</i>	--	1280	2537	--	1889
<i>TIR [%]</i>	--	6,893	11,81	--	6,474
<i>Període de retorn [anys]</i>	--	9	7	--	10

[Taula 14](#) Taula resultats

9. Estudi de viabilitat econòmica

En tots els casos es pot veure com la viabilitat econòmica de la inversió depèn directament de la taxa d'interès que es consideri. Per les taxes més baixes (1%, 3% i 5%) és viable en tots els casos calculats, però quan aquesta taxa augmenta deixa de ser viable pels casos 2 i 3.2. De totes maneres, l'índex d'inflació actual a la EU és de 1,2-1,3% i té la previsió de pujar fins a l'1,5% per l'any 2021 [72], [73], per tant en aquest escenari la inversió seria viable en els tres casos estudiats.

Aquesta afirmació es ratifica si es miren les TIR's dels tres casos ([Taula 15](#)), es pot veure que en cap cas aquesta baixa del 6% el que dona força marge respecte a la taxa d'interès actual. Per l'altre costat, també és important mencionar que només un dels tres casos, el 3.1, arribaria a ser viable en el pitjor dels escenaris considerats (amb una taxa d'interès del 10%).

Per una altra banda, és remarcable que els períodes de retorn són força elevats per tots tres casos. De fet, no n'hi cap dels tres que baixi dels 5 anys i un d'aquests arriba a un període de 10 anys.

Amb tot, la inversió és poc robusta i un petit canvi (en valors absoluts) podria fer que els resultats sobre la viabilitat puguin variar molt. Això en part és degut al fet que, en una inversió relativament petita amb beneficis petits, qualsevol canvi (encara que petit en valors absoluts) pugui fer tombar la balança d'un costat o de l'altre.

Per una altra banda, comparativament es pot veure a la [Taula 15](#) com l'entrada en el mercat de balanceig és clarament més viable que si únicament es disposa de sistemes de flexibilitat intrínseca a l'edifici. Aquesta viabilitat es reflecteix en una pujada de quasi 5 punts percentuals en la TIR i en una reducció de 2 anys del període de retorn respecte al Cas 2 amb el Cas 3.1.

	Cas 2	Cas 3.1	Cas 3.2
<i>Inversió inicial [€]</i>	-2500	-2500	-4000
<i>TIR [%]</i>	6,893	11,81	6,474
<i>Període de retorn [anys]</i>	9	7	10

[Taula 15](#) Taula comparativa de la viabilitat en els tres casos estudiats

És remarcable que el cas 3.2, tot i tenir un estalvi energètic més gran i uns pagaments dels mercats força majors als altres dos casos, és el menys viable econòmicament. Això es deu principalment a la pujada substancial de la inversió a causa del punt de càrrega intel·ligent, tot i que per aquest estudi aquest cost era força similar a un punt de càrrega general. Aquest fet recalca el pes que té la inversió inicial en els sistemes de flexibilitat per edificis residencials.

Per tant, aquí hi apareix la importància que tenen les diferents estratègies que hi pot haver per afrontar aquesta inversió com podrien ser les EPC (*Energy Performance Contracting*) [6], [74]–[76]. Aquests tipus de sistema de finançament són contractes de llarga durada on l'empresa es fa càrrec de tota la inversió inicial a canvi d'un percentatge dels beneficis de l'estalvi energètic durant els anys que dura el contracte. Quan aquest contracte s'acaba són els habitants de l'edifici els qui obtenen tots els beneficis. D'aquesta manera és l'empresa qui carrega amb tot el risc de la inversió a canvi d'uns beneficis majors (els contractes duren sempre uns anys més que el període de retorn).

Una altra manera que podria reduir aquesta inversió inicial, serien les subvencions públiques en l'àmbit europeu [77]–[79] que, encara que actualment es troben més enfocades cap a empreses, podrien obrir una porta per a la flexibilització d'edificis residencials.

Amb tot, es pot veure clarament com la situació més favorable seria la del cas 3.1. Això és així, ja que, per aquest cas l'edifici és capaç de treure profit tant dels beneficis de la flexibilitat intrínseca com de l'extrínseca sense pagar un preu inicial major que el cas on només es considera la flexibilitat intrínseca.

10. Estudi d'impacte ambiental

A part dels beneficis que pugui tenir la flexibilitat energètica des del punt de vista purament econòmic, també té un impacte ambiental. Aquest impacte ambiental de la flexibilitat energètica es pot dividir també en els diferents casos segons la flexibilitat disponible a l'edifici.

10.1. Cas 1

Aquest primer cas, com a cas de referència es considera com a cas base. Així, si a l'estat espanyol l'any 2018 la producció elèctrica va tenir unes emissions d'aproximadament 50 milions de tones de CO₂ per una generació de 269000 GWh [53], per tant la producció d'electricitat a Espanya s'associa a unes emissions de 0,186 kg/kWh.

Així les emissions segons si l'edifici disposa de cotxe elèctric o no serien les següents.

10.1.1. Cas 1.1 Sense vehicle elèctric

Si l'edifici que tendria un consum de 44800 kWh/any alliberaria unes emissions de 8333 kg de CO₂ per consum elèctric cada any.

10.1.2. Cas 1.2 Amb vehicle elèctric

Per l'altre costat, un edifici amb un consum de 50300 kWh/any allibera anualment 9356 kg de CO₂ per consum elèctric.

10.2. Cas 2

Segons els models de [60], [80] una gestió eficient de l'energia en edificis residencials podria suposar una reducció de les emissions de CO₂ d'aproximadament el 20%. Això vol dir que una reducció del 20% suposaria emetre 1667 kg de CO₂ menys que en el primer cas sense vehicle elèctric.

10.3. Cas 3

Per aquest cas l'estudi comparatiu de la reducció d'emissions s'ha de separar en dos diferents segons si l'edifici disposa de EV o no. Això no només es fa per la diferència de consums, sinó que també perquè els casos de referència per fer la comparativa no són els

mateixos. Així per una banda el Cas 3.1 es compara amb el 1.1, mentre que el cas 3.2 es compara amb el 1.2.

10.3.1. Cas 3.1 Sense vehicle elèctric

Com ja s'ha dit diverses vegades al llarg de l'estudi, el cas 3.1 té el mateix estalvi energètic que el cas 2, ja que l'efecte rebot té una eficiència de 1. Però a més, hi ha l'efecte de l'agregador que també pot suposar una reducció en les emissions de l'edifici. En aquest sentit, [45] diu que un agregador que miri pel benefici econòmic de l'usuari final té associat també una reducció de les emissions de 0,024 kg per kWh activat. Aquesta reducció és conseqüència del fet que adaptar el consum a la producció permet evitar que les plantes de generació d'energia convencionals més contaminants, que habitualment són també les més cares (com les plantes de carbó), siguin activades.

Així, si s'ha calculat que hi hauria una activació anual aproximada de 3760 kWh en total per tot l'edifici, la figura de l'agregador permetria reduir en 90,15 kg de CO₂. Per tant, en total, es podrien reduir les emissions en 1757 kg de CO₂.

10.3.2. Cas 3.2 Amb vehicle elèctric

La forma de calcular la reducció de les emissions per aquest escenari és igual que el del cas anterior. Així si el cas de referència (Cas 1.1) té unes emissions de 9356, un 20% de reducció de les emissions significa alliberar 1871 kg de CO₂ menys a l'any.

A més, com en el cas anterior, a aquesta reducció s'hi han de sumar 0,024 kg de CO₂ per kWh d'activació de la flexibilitat extrínseca. En aquest segon cas les activacions són majors que a l'apartat anterior i tenen un valor anual de 4410 kWh, el que significa, una reducció de 105,91 kg de CO₂. En total aquest cas suposaria una reducció de 1977 kg de CO₂.

A la [Taula 16](#) següent es pot observar el resum de les reduccions de les emissions:

	Cas 1.1	Cas 2	Cas 3.1	Cas 1.2	Cas 3.2
Emissions anuals [kg CO₂]	8333	6666	6576	9356	7379
Reducció anual absoluta [kg CO₂]	0	1667	1757	0	675,41
Reducció anual relativa [%]	0	20	21,08	0	21,13

Taula 16 Taula resum de la reducció de les emissions.

11. Pressupost

En aquest apartat es recull quin és el cost de realitzar aquest estudi. En aquest sentit, cal mencionar que el preu és una aproximació del que realment podria arribar a costar.

Els costs de realització es podrien dividir en dos grans grups. Per una banda els costs del treball personal necessari per portar-lo a terme, mentre que, per l'altra banda, hi hauria els costs dels materials utilitzats, sobretot d'articles.

Així, el primer dels costs del pressupost es relacionaria amb el sou que l'autor de l'estudi cobraria per la feina realitzada. El sou aproximat d'un enginyer junior es troba sobre els 30€/hora [81]. Si es tracta d'un treball de 300 hores teòriques, en total es pagaria 9000€ a l'autor.

Per l'altre costat, es troben els costos dels materials del projecte. En aquest cas els principals costs es trobarien per la compra dels articles a revistes científiques o de llibres que componen bona part de la bibliografia del projecte. Realment aquest cost es troben sufragat, en la seva majoria, pels serveis informàtics per a estudiants de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), però aquí es fa una aproximació de quin cost podria tenir de no disposar d'aquests serveis.

D'aquesta manera, hi ha, aproximadament, un total de 55 articles (usats finalment per l'estudi o no) que ni eren d'accés lliure per internet (com ho són, per exemple, tots els de la EC), ni eren confidencials del projecte SABINA, etc. Aquests articles pertanyen sobretot a revistes científiques com *ScienceDirect* o *IEEE*. El preu mitjà de cada article és d'uns 32 € per article [82], [83]. No es consideren dins el preu de l'estudi ni els programes usats ni l'electricitat o d'altres costos materials. Per tant, el preu total dels costos materials és de 1760 €.

El resum total del pressupost del projecte es pot veure a la taula següent ([Taula 17](#)):

<i>Recursos humans [€]</i>	9000
<i>Recursos materials [€]</i>	1760
<i>Total [€]</i>	10760

Taula 17 Taula del pressupost de l'estudi

Conclusions

Resumint, la viabilitat econòmica de la flexibilitat energètica és força discutible. Així, tot i que els resultats de les TIR en un horitzó de 15 anys és sempre més elevat que l'índex d'inflació actual, els períodes de retorn de la inversió són en tots els casos força elevats. A més, la viabilitat econòmica dels tres escenaris d'estudi es troba també molt lligada als possibles canvis, el que dona poca robustesa i fiabilitat.

Una explicació podria ser que els pagaments per capacitat proposats no siguin suficientment alts com per aconseguir incentivar l'entrada de petites fonts de flexibilitat agregades. De fet, es pot observar com els pagaments per activació de la FRR és, en el cas on hi ha flexibilitat extrínseca, inferior als pagaments per activació, el que contradiu la idea proposada per [40].

En qualsevol cas, es pot observar com l'entrada al mercat de balanceig per part dels edificis residencials pot aportar uns beneficis als residents que poden ser crucials per a la viabilitat econòmica d'una inversió com aquesta.


A més, aquesta entrada aporta uns beneficis majors al medi ambient que es veu reflectit en la reducció de les emissions de CO₂ de l'edifici per causa del seu consum energètic. Aquesta reducció en les emissions es nota sobretot en el moment que l'edifici entra dins del mercat de balanceig (diferència entre el Cas 2: flexibilitat intrínseca i el Cas 3: flexibilitat intrínseca i extrínseca).

Per la seva banda, entre els dos sub-casos del cas 3 es pot veure clarament com el cotxe elèctric redueix força la seva viabilitat en el mercat actual. L'augment de la inversió inicial fa que, encara que els beneficis econòmics amb EV siguin d'uns 61,5 €/any superior al cas sense vehicle elèctric, es redueixi considerablement la viabilitat final.

Un punt interessant a estudiar per tal de fer aquesta inversió més fiable, podrien ser les possibles subvencions públiques (siguin a nivell europeu o estatal) per tal d'aconseguir una reducció en la inversió inicial. Una altra opció destinada a reduir la barrera que suposa la inversió inicial també podrien ser els EPC que s'han comentat a l'apartat de Estudi de viabilitat econòmica.

En qualsevol cas, a més de reduir la inversió inicial també podria ser interessant millorar la viabilitat de l'agregació dels edificis residencials mitjançant uns pagaments més atractius, especialment els relacionats amb els pagaments per capacitat.

Agraïments

Agraïments a l'IREC (*Institut de Recerca en Energia de Catalunya*) i al projecte europeu SABINA (nº 731211 del programa d'innovació i recerca de la EU, Horitzon 2020 ) per tota la informació aportada sobre el seu treball al llarg de tot l'estudi.

També cal una menció especial a Miguel Cruz (vicepresident de serveis i desenvolupament empresarial de Dexma) per l'entrevista telefònica concedida i per la informació donada al llarg d'aquesta.

Per últim donar les gràcies a Albert Garcia Martínez (CTO de AEM) per la seva amabilitat i el seu temps i per respondre als correus.

Annex

En aquest annex es farà un resum dels contactes amb les dues empreses que s'han realitzat per portar a terme aquest estudi. En concret s'ha contactat amb dues empreses que implementen sistemes de flexibilitat intrínseca a edificis per tal de reduir costs del consum energètic i maximitzar l'autoconsum.

En primer lloc es va concertar una entrevista telefònica amb Miguel Cruz de l'empresa Dexma. A la trucada realitzada el 23 de Desembre del 2019 es va parlar de quin era el funcionament seguit per l'empresa Dexma per oferir serveis de flexibilitat intrínseca a edificis empresarials del sector secundari i terciari. Així, encara que el seu funcionament no és el mateix que el que es faria per un edifici residencial, ha permès a l'autor del text veure altres sistemes de flexibilitat per altres càrregues alternatives corresponents a edificis amb una finalitat diferent.

En tot cas, l'entrevista també va permetre treure algunes conclusions que s'han pogut usar a l'estudi:

- En primer lloc el cost d'un sistema d'automatització per una empresa relativament petita del sector terciari pot costar uns 5000€ (molt aproximadament). Un altre cas seria el d'una empresa de 10000 m² que el preu d'implementar el sistema de flexibilitat va resultar ser de 25000 €.
- Els sistemes de control del HVAC permeten optimitzar el consum i reduir errors, gràcies a la inèrcia tèrmica dels edificis, amb una consegüent reducció dels costs energètics d'entre el 10 i el 20%, depenent de l'eficiència energètica que tenia l'empresa anteriorment.
- Una barrera important a l'hora d'implementar aquests sistemes és el temps necessari per poder amortitzar la inversió inicial, sol haver-hi un període de retorn d'uns quants anys.

La segona empresa contactada és AEM amb Albert Garcia Martínez com a interlocutor. A diferència de Dexma, AEM sí que es troba dins del mercat d'implementació sistemes de flexibilitat elèctrica a edificis residencials (entre altres mercats). Així, mitjançant una comunicació per correu electrònic, es va exposar en línies generals quin era l'objecte d'estudi i quin podria ser un preu orientatiu que es manegen per a la implementació d'aquests sistemes de flexibilitat. D'aquesta manera es va poder saber que:

- Primer de tot s'han de tenir en compte que fer un diagnòstic bàsic (sense

desplaçaments) sumarien un 225€ al preu final.

- Un cop fet el diagnòstic, la implementació del seu gestor energètic podria tenir un preu base a partir dels 1600€.
- Finalment es va remarcar que aquest preu total de 1825€ (diagnòstic més instal·lació) correspon a preus genèrics i que, per tant, caldria veure-ho més detalladament per cada cas concret.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] SABINA, "Smart bi-directional multi energy gateway," *pàgina web*, 2019. [Online]. Available: <https://sabina-project.eu/>. [Accessed: 10-Sep-2019].
- [2] I. Komusanac, D. Fraile, and G. Brindley, "Wind energy in Europe in 2018," 2018.
- [3] A. Ginard, "La electricidad que ilumina Balears," *Última hora*, p. 1, 2016.
- [4] E. Press, "La isla de El Hierro se abastece de energía 100% renovable durante 18 días seguidos," *Público*, p. 1, 2018.
- [5] REE, "Seguimiento de la demanda de energía eléctrica," 2019. [Online]. Available: <https://demanda.ree.es/visiona/home>. [Accessed: 09-Oct-2019].
- [6] L. Caldwell, J. Sharman, A. Alvarez, and L. Bajarová, "SABINA Deliverable D1.1 Market-based requirements for the SABINA solution," 2017.
- [7] Agencias, "Las eléctricas alemanas 'pagan' a sus consumidores por el exceso de oferta en Navidad," *La Vanguard*, p. 1, 2018.
- [8] S. Reed, "Power Prices Go Negative in Germany, a Positive for Energy Users," *New York Times*, p. 1, 2017.
- [9] Aleasoft Energy Forecasting, "Alemania, Francia y Bélgica tuvieron precios negativos este fin de semana gracias a las renovables," *El periódico la energía*, p. 2, 2018.
- [10] energy in time, "Simulation-based control for Energy Efficiency building operation and maintenance," 2013. [Online]. Available: <https://www.energyintime.eu/summary/>. [Accessed: 25-Sep-2019].
- [11] Z. Lennard *et al.*, "D1 . 6 Use Cases and Business Models Vision I: High-level requirements , use cases , and business orientations," 2016.
- [12] J. Cochran *et al.*, "Flexibility in 21st Century Power Systems," 2014.
- [13] E. Hillberg *et al.*, "Flexibility needs in the future power system," 2019.
- [14] Y. K. Penya *et al.*, "Smart buildings and the smart grid," 2013.
- [15] SEDC, "Smart Energy Demand Coalition Mapping Demand Response in Europe Today," 2015.
- [16] A. Pinto-Bello, "The smartEn Map European Balancing Markets Edition," 2018.

- [17] N. Šajn, "Electricity 'Prosumers,'" 2016.
- [18] A. Ricci *et al.*, "Smart grids / Energy grids. The techno-scientific developments of smart grids and the related political, societal and economic implications," 2012.
- [19] European Commission, "EU 2020 target for energy efficiency," 2019. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/targets-directive-and-rules/eu-targets-energy-efficiency>. [Accessed: 07-Oct-2019].
- [20] Comisión Europea, "Directiva 2012/27/UE del parlamento Europeo y del Consejo," 2012.
- [21] European Commission, "Energy efficiency directive," 2019. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/targets-directive-and-rules/energy-efficiency-directive>. [Accessed: 07-Oct-2019].
- [22] European Commission, "National renewable energy action plans 2020," 2019. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/renewable-energy/national-renewable-energy-action-plans-2020>. [Accessed: 07-Oct-2019].
- [23] Eurostat, "Greenhouse gas emission statistics," 2018.
- [24] European Commission, "Electricity market design," 2019. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/markets-and-consumers/market-legislation/electricity-market-design>. [Accessed: 08-Oct-2019].
- [25] European Commission, "Energy performance of buildings," 2019. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-performance-of-buildings/overview>. [Accessed: 08-Oct-2019].
- [26] European Commission, "Energy performance of buildings directive," 2019. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-performance-of-buildings/energy-performance-buildings-directive>. [Accessed: 08-Oct-2019].
- [27] SEDC, "Current status and progress of Demand Response in the EU," 2017. [Online]. Available: http://www.europarl.europa.eu/cmsdata/119722/3_JStromback_ITRE_300517.pdf. [Accessed: 04-Oct-2019].
- [28] DECC, "DECC Community Energy Strategy : People Powering Change," 2014.
- [29] J. Kensby, J. O. Dalenbäck, A. Trüschel, and O. Olsson, "Smart energy networks – connections between smart grids and smart district heating networks Göteborg energi," 2017. [Online]. Available: <http://www.chalmers.se/en/projects/Pages/Smarta-energinät—koppling-mellan-smarta-elnät-och-smarta-fjärrvärmenät.aspx>. [Accessed: 25-Sep-2019].
- [30] QCoefficient, "QCoefficient," 2017. [Online]. Available: <http://qcoefficient.com/>. [Accessed: 24-Sep-2019].
- [31] BuildingIQ, "BuildingIQ," 2019. [Online]. Available: <https://buildingiq.com/>.

[Accessed: 25-Sep-2019].

- [32] DEPSys, "DEPSys," 2019. [Online]. Available: <https://www.depsys.ch/>. [Accessed: 25-Sep-2019].
- [33] Sim4block, "Neurobat," 2018. [Online]. Available: <https://www.sim4blocks.eu/pictures/neurobat/>. [Accessed: 27-Sep-2019].
- [34] GridSense, "GridSense," 2019. [Online]. Available: <https://www.gridsense.in/>. [Accessed: 28-Sep-2019].
- [35] DemandLogic, "DemandLogic," 2019. [Online]. Available: <https://www.demandlogic.co.uk/>. [Accessed: 25-Sep-2019].
- [36] EU Parliament, "Smart electricity grids and meters in the EU Member States," 2015.
- [37] Smart Grid Task Force, "Regulatory Recommendations for the Deployment of Flexibility - EG3 REPORT," 2015.
- [38] G. Kotsis, I. Moschos, C. Corchero, and M. Cruz-Zambrano, "Demand aggregator flexibility forecast: Price incentives sensitivity assessment," IEEE, 2015.
- [39] S. B. Sadineni, T. M. France, and R. F. Boehm, "Economic feasibility of energy efficiency measures in residential buildings," Elsevier Ltd, 2011.
- [40] L. Canals Casals, M. Barbero, and C. Corchero, "Reused second life batteries for aggregated demand response services," Elsevier Ltd, 2019.
- [41] European Commission and METIS Technical Notes, "Overview of European Electricity Markets," 2016.
- [42] L. C. Casals and C. Corchero, "SABINA: EL PROYECTO QUE ENTIENDE LA AGREGACIÓN DE LA DEMANDA COMO EL CAMINO HACIA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA REDUCIENDO LAS EMISIONES," 2019.
- [43] L. Noel, G. Zarazua de Rubens, J. Kester, and B. K. Sovacool, "Vehicle-to-Grid," 2019.
- [44] L. C. Casals, C. Corchero, J. Ortiz, J. Salom, D. Cardoner, and L. Igualada, "How Building and District Algorithms Enhance Renewable Energy Integration in Energy Markets," 2019.
- [45] M. Barbero, L. C. Casals, and C. Corchero, "COMPARISON BETWEEN ECONOMIC OR ENVIRONMENTAL DRIVERS FOR DEMAND SIDE AGGREGATOR," 2019.
- [46] S. Pagliuca, I. Lampropoulos, M. Bonicolini, B. Rawn, M. Gibescu, and W. L. Kling, "Capacity assessment of residential demand response mechanisms," 2011.
- [47] K. Vanthournout, B. Dupont, W. Foubert, C. Stuckens, and S. Claessens, "An automated residential demand response pilot experiment, based on day-ahead dynamic pricing," Elsevier Ltd, 2015.

- [48] tarifasdeluz, "Consumo medio de electricidad en España," 2019. [Online]. Available: <https://www.tarifasdeluz.com/faqs/consumo-medio-electricidad-en-hogares-de-espana/>. [Accessed: 22-Dec-2019].
- [49] IDAE and Ministerio de Industria Energía y Turismo, "Informe de precios regulados España," 2016.
- [50] tarifasdeluz, "Precio del kWh en España en 2019," 2019. [Online]. Available: <https://tarifaluzhora.es/info/precio-kwh>. [Accessed: 22-Dec-2019].
- [51] European Comission, "PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM," 2019. [Online]. Available: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP. [Accessed: 22-Dec-2019].
- [52] esios and REE, "esios," 2019. [Online]. Available: <https://www.esios.ree.es/es?locale=es>. [Accessed: 28-Dec-2019].
- [53] ree, "Informe del sistema eléctrico Español 2018," 2019.
- [54] R. Belmans *et al.*, "LINEAR Intelligent Networks - Demand Response for Families," 2014.
- [55] tarifaluzhora, "¿Qué es la discriminación horaria?," 2019. [Online]. Available: <https://tarifaluzhora.es/info/discriminacion-horaria>. [Accessed: 08-Jan-2020].
- [56] tarifasgasluz, "Discriminación horaria: ¿a qué hora es más cara la luz?," 2018. [Online]. Available: <https://tarifasgasluz.com/faq/tarifas/discriminacion-horaria#>. [Accessed: 26-Dec-2019].
- [57] Lucera, "cuanto consumen los electrodomésticos," 2018. [Online]. Available: <https://lucera.es/blog/cuanto-consumen-electrodomesticos>. [Accessed: 02-Jan-2020].
- [58] La casa tecno, "Consumo de agua en la lavadora: el ahorro a tu alcance," 2017. [Online]. Available: <http://lacasatecno.com/hogar/aspiracion-y-limpieza/consumo-de-agua-en-la-lavadora/>. [Accessed: 02-Jan-2020].
- [59] OCU, "¿Cuánta energía consume una casa?," 2016. [Online]. Available: <https://www.ocu.org/vivienda-y-energia/gas-luz/noticias/cuanta-energia-consume-una-casa-571584#>. [Accessed: 02-Jan-2020].
- [60] M. Baldini and A. Trivella, "Modelling of electricity savings in the Danish households sector: from the energy system to the end-user," Energy Efficiency, 2018.
- [61] tarifaluzhora, "Calcular el consumo eléctrico de una casa," 2018. [Online]. Available: <https://tarifaluzhora.es/info/calcular-consumo-electrico-casa>. [Accessed: 24-Dec-2019].
- [62] Institute for Energy Diversification and Saving - IDAE, "Project Sech-Spahousec, Analysis of the Energetic Consumption of the Residential Sector in Spain (Proyecto Sech-Spahousec, Análisis del consumo energético del sector residencial en España)," 2016.

- [63] R. Halvgaard, N. K. Poulsen, H. Madsen, and J. B. Jørgensen, "Economic Model Predictive Control for Building Climate Control in a Smart Grid," 2011.
- [64] R. E. Hedegaard, T. H. Pedersen, and S. Petersen, "Multi-market demand response using economic model predictive control of space heating in residential buildings," Elsevier B.V., 2017.
- [65] M. Avci, M. Erkoç, A. Rahmani, and S. Asfour, "Model predictive HVAC load control in buildings using real-time electricity pricing," Elsevier B.V., 2013.
- [66] Fassa, "Productos Fassa," 2017. [Online]. Available: <https://www.fassaingenieria.com/eficiencia-energética-1/>. [Accessed: 03-Jan-2020].
- [67] G. De Trabajo, R. Farré-escofet, M. Gúzman, and A. Salazar, "Eficiencia energética de Edificios Residenciales.," 2009.
- [68] T. Wei, Q. Zhu, and M. Maasoumy, "Co-scheduling of HVAC control, EV charging and battery usage for building energy efficiency," 2015.
- [69] Vehicle to Grid UK, "Vehicle to Grid UK," 2018. [Online]. Available: <http://www.v2g.co.uk/2017/09/2018-nissan-leaf-revealed/>. [Accessed: 08-Jan-2020].
- [70] Nissan, "Nissan LEAF - autonomía y recarga," 2020. [Online]. Available: <https://www.nissan.es/vehiculos/nuevos-vehiculos/leaf/autonomia-recarga.html>. [Accessed: 08-Jan-2020].
- [71] LuGEnerGy, "Información y precios de puntos de recarga," 2019. [Online]. Available: <https://www.lugenergy.com/instalacion-punto-recarga-coche-electrico/>. [Accessed: 31-Dec-2019].
- [72] G. Rates, "Inflación España - índice de precios al consumo (IPC)," 2020. [Online]. Available: <https://es.global-rates.com/estadisticas-economicas/inflacion/indice-de-precios-al-consumo/ipc/espana.aspx>. [Accessed: 09-Jan-2020].
- [73] bankinter, "Previsión del IPC España para 2020 y 2021," 2019. [Online]. Available: <https://blog.bankinter.com/economia/-/noticia/2016/8/24/previsiones-ipc-espana>. [Accessed: 09-Jan-2020].
- [74] C. F. Calvillo, A. Sánchez-Miralles, J. Villar, and F. Martín, "Optimal planning and operation of aggregated distributed energy resources with market participation," *Appl. Energy*, vol. 182, pp. 340–357, 2016.
- [75] M. Frangou, M. Aryblia, S. Tournaki, and T. Tsoutsos, "Renewable energy performance contracting in the tertiary sector Standardization to overcome barriers in Greece," Elsevier Ltd, 2018.
- [76] T. Winther and K. Gurigard, "Energy performance contracting (EPC): a suitable mechanism for achieving energy savings in housing cooperatives? Results from a Norwegian pilot project," Energy Efficiency, 2017.
- [77] Energy efficient mortgages action plan, "Energy efficient mortgages action plan," 2018. [Online]. Available: <https://eemap.energyefficientmortgages.eu/>. [Accessed: 03-Jan-

2020].

- [78] Europea Investment Bank, “ELENA – supporting investments in energy efficiency and sustainable transport,” 2017. [Online]. Available: <https://www.eib.org/en/products/advising/elena/index.htm>. [Accessed: 03-Jan-2020].
- [79] IDAE and Ministerio de Industria Energía y Turismo, “Programa de Ayudas para la Rehabilitación Energética de Edificios existentes (Programa PAREER-CRECE),” 2017. [Online]. Available: <https://www.idae.es/ayudas-y-financiacion/para-rehabilitacion-de-edificios-programa-pareer/programa-de-ayudas-para-la>. [Accessed: 03-Jan-2020].
- [80] H. Batih and C. Sorapipatana, “Characteristics of urban households’ electrical energy consumption in Indonesia and its saving potentials,” Elsevier, 2016.
- [81] H. Vega, “Estudi de la viabilitat d’un sistema bomba de calor geotèrmica,” Universitat Politècnica de Catalunya, 2017.
- [82] iee, “IEEE Xplore digital library,” 2020. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>. [Accessed: 03-Jan-2020].
- [83] ScienceDirect, “ScienceDirect,” 2020. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/>. [Accessed: 03-Jan-2020].